

Victor Delegrego

**CONSTRUTIBILIDADE: LIÇÕES INTERNACIONAIS E APLICAÇÕES PARA O
BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Universidade
Federal de Santa Catarina como
requisito parcial para obtenção do grau
de Engenheiro Civil.
Orientadora: Prof.^a Cristine do
Nascimento Mutti, PhD.

Florianópolis

2017-2

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Delegregó, Víctor
Construtibilidade: lições internacionais e aplicações
para o Brasil / Víctor Delegregó ; orientadora, Cristine
do Nascimento Mutti, 2017.
117 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Construtibilidade. 3.
Produtividade. 4. BIM. 5. Construção. I. Mutti, Cristine do
Nascimento. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

**CONSTRUTIBILIDADE: LIÇÕES INTERNACIONAIS E APLICAÇÕES PARA O
BRASIL**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil, e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 28 de novembro de 2017.

Prof.^a Luciana Rohde, PhD.
Coordenadora do Curso de Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Catarina

Banca Examinadora:



Prof.^a Cristine do Nascimento Mutti, PhD.
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Fernanda Fernandes Marchiori, Dr.^a
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Lisiane Ilha Librelotto, Dr.^a
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus amigos de curso e aos meus queridos pais.

AGRADECIMENTOS

Quero dedicar este trabalho primeiramente à minha família. Aos meus queridos pais, Luis Gustavo e Stella, que me deram o amor, apoio e carinho necessários para tornar possível minha formação universitária, e a meu irmão Henrique, meu melhor amigo em todas as ocasiões.

Dedico-o também aos bons companheiros que tive durante o curso, que inevitavelmente partilham das conquistas desses seis anos de graduação, seja em Florianópolis ou em Bath. Agradeço também aos meus amigos de Blumenau, com quem mantenho essa amizade desde minha infância.

Agradeço às empresas que me disponibilizaram seus projetos, sem os quais o trabalho não poderia ter sido desenvolvido. Agradeço também ao Rafael Fernandes Teixeira da Silva e à equipe do LaBIM, que, talvez mesmo sem conhecimento, tiveram uma contribuição significativa no aprimoramento do trabalho.

Devo muito ao professor Ricardo Codinhoto, PhD, por me apresentar o tema central e por me motivar a desenvolver um trabalho de cunho acadêmico. À professora Cristine do Nascimento Mutti, PhD, só tenho a agradecer, por me oferecer pronto suporte durante todo o desenvolvimento do trabalho, mesmo quando eu fiquei aquém de minhas obrigações. Também por sempre partilhar de meu entusiasmo em relação ao tema, resultando em um trabalho que tenho orgulho de chamar de meu.

“Em nenhuma outra indústria a responsabilidade pelo projeto está tão distante da reponsabilidade pela produção”

(Sir Harold Emmerson, 1962)

RESUMO

A separação entre os processos de projeto e execução de uma obra pode causar falhas na comunicação de ideias entre os profissionais e empresas envolvidas nessa. Um dos resultados mais comuns dessa separação são projetos que, apesar de corretos do ponto de vista arquitetônico e técnico, implicam em processos de construção ineficientes. Tal problema pode ser resolvido em sua maior parte com a incorporação dos conhecimentos de construção durante a fase de projeto. Um conceito que engloba essas ideias é o de construtibilidade, que diz respeito à facilidade de construção de um projeto. As pesquisas em construtibilidade buscam por mais de três décadas encontrar formas de facilitar a construção, por meio de processos que aproximem o conhecimento dos construtores ao projeto. Um grande volume de pesquisas internacionais no tema comprova que um aumento na construtibilidade resulta diretamente em benefícios como o aumento de produtividade, maior qualidade, melhor inter-relacionamento da equipe e menor dependência de mão de obra, dentre outros. Nesse trabalho buscou-se responder como o conceito deve ser aplicado e pesquisado no Brasil. A finalidade é que os benefícios provindos de considerar a construtibilidade como um parâmetro de projeto possam ser aproveitados pela indústria da construção. Para isso, foi feito primeiramente um estudo crítico da literatura, principalmente de publicações internacionais sobre o tema, de onde foram definidos alguns pontos principais para o uso e estudo da construtibilidade no país. Uma das conclusões dessa análise foi que a maneira como o tema vem sendo estudado até o momento no país não é a adequada para uma ampla aceitação do conceito pela indústria. Com base na análise anterior, foi escolhido da literatura um método para quantificação da construtibilidade, o BDAS, utilizado pelo governo de Singapura. O propósito foi demonstrar esse processo de quantificação e avaliar sua aplicabilidade no Brasil. Os resultados dessa análise foram interessantes, com o método se adaptando bem ao uso no contexto nacional para alguns dos tipos representativos de obras na construção civil. A quantificação da construtibilidade em conjunto com o *Building Information Modelling* (BIM) também foi investigada. Foi traçada uma lógica de dados que conecta as informações relevantes para uso em uma rotina computacional, que quantifica a construtibilidade de forma automatizada a partir de arquivos com o formato IFC.

Palavras-chave: Construtibilidade; Produtividade; BIM.

ABSTRACT

The separation between the design and construction processes of a building may cause communication failures between the professionals and companies involved with it. One of the most common results of this separation are projects that, although correct from an architectural and technical perspective, imply inefficient construction processes. Such problem may be largely solved with the incorporation of construction knowledge during design phase. A concept that encompasses these ideas is buildability, which represents the ease of construction of a project. Buildability research works for more than three decades on finding ways of facilitating construction, by bringing closer the constructor's knowledge to the design phase. A great volume of international research on the subject demonstrate that an improvement in buildability results directly on benefits such as productivity rise, better quality, better relationship within the crew and lesser dependency on labour, among others. This work tried to answer how the concept can be applied and researched in Brazil. With that purpose, a critical literature analysis was conducted, mainly for national and international papers, from which main points were derived for the use and study of buildability in the country. One of the conclusions from this analysis is that the way the subject has been approached until the moment is not adequate for an ample acceptance of the concept by the industry. Based on that analysis, a method for assessing buildability was chosen from the literature, the BDAS, employed by the Singaporean government. The purpose was to demonstrate the quantification process and evaluate its applicability in Brazil. The results from this analysis were interesting, with the method adapting well to use on a national context for some of the representative building types in civil construction. The quantification of buildability in conjunction with Building Information Modelling (BIM) was also investigated. A data structure was developed, containing relevant information for use in a computer code that automates buildability quantification from files with IFC format.

Keywords: *Buildability; Productivity; BIM.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma explicativo da estrutura do trabalho	19
Figura 2 – Relação genérica entre custo de mudanças pelo avanço do projeto.....	28
Figura 3 – Relação geral entre construtibilidade (BDAS) e produtividade.....	48
Figura 4 – Construtibilidade e produtividade da indústria, edifícios <i>landed</i>	48
Figura 5 - Construtibilidade e produtividade da indústria, edifícios <i>non-landed</i>	49
Figura 6 - Relação entre qualidade (CONQUAS) e construtibilidade (BDAS)	49
Figura 7 - Inserção de parâmetros de construtibilidade em uma parede	61
Figura 8 – Visão 3D do projeto 1	63
Figura 9 – Estrutura CRAS.....	64
Figura 10 – Seções de pilares com dimensões múltiplas a 0.5M	66
Figura 11 – Planta de locação do projeto 2	69
Figura 12 – Corte do projeto 2.....	70
Figura 13 – Planta do pavimento tipo, projeto 2	71
Figura 14 – Visão 3D, projeto 3	75
Figura 15 – Elevação, projeto 3.....	76
Figura 16 – Planta do segundo pavimento, projeto 2	77
Figura 17 - Valores originais e modificados de construtibilidade por projeto	81
Figura 18 – Inserção do parâmetro de construtibilidade no modelo	87
Figura 19 – Obtenção de parâmetro “BDAS” de construtibilidade em paredes	88
Figura 20 – Obtenção do comprimento das paredes.....	88
Figura 21 - Obtenção de parâmetro “BDAS” de construtibilidade em lajes	89
Figura 22 - Obtenção da área dos espaços.....	90
Figura 23 – Código do xBIM	91
Figura 24 – Modelo simplificado para teste	92
Figura 25 - Cálculo da construtibilidade através do xBIM	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - <i>Table A</i> , categorização de edifícios	52
Quadro 2 – <i>Table B</i> , pontuações mínimas para novas edificações.....	53
Quadro 3 – <i>Table C</i> , pontuações mínimas para reformas.....	53
Quadro 4 – <i>Table 1</i> , sistemas estruturais	55
Quadro 5 – Tabela de estrutura com índices adicionais	55
Quadro 6 – <i>Table 2</i> , sistemas de parede	56
Quadro 7 – <i>Table 3</i> , outras características construtivas e pontuações bônus	57
Quadro 8 – Projetos que obteriam muito ou pouco benefício ao usar o BDAS	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre métodos segundo critérios de escolha	46
Tabela 2 – Tabela resumo com características dos projetos avaliados.....	62
Tabela 3 – Pontuação de construtibilidade estrutural, projeto 1.....	64
Tabela 4 - Pontuação de construtibilidade de paredes, projeto 1	65
Tabela 5 – Padronização das portas, projeto 1	66
Tabela 6 – Construtibilidade estrutural com laje pré-moldada, projeto 1	67
Tabela 7 - Construtibilidade estrutural com telhas metálicas, projeto 1	67
Tabela 8 - Construtibilidade estrutural com mudanças combinadas, projeto 1	68
Tabela 9 – Construtibilidade de paredes com <i>drywall</i> , projeto 1	68
Tabela 10 – Pontuação de construtibilidade, projeto 1	69
Tabela 11 - Pontuação de construtibilidade estrutural, projeto 2	72
Tabela 12 - Pontuação de construtibilidade de paredes, projeto 2	73
Tabela 13 – Pontuação N para repetição de <i>layouts</i> , projeto 2.....	73
Tabela 14 – Pontuação de construtibilidade, projeto 2.....	74
Tabela 15 – Construtibilidade do sistema de paredes, projeto 3	78
Tabela 16 - Construtibilidade do sistema de paredes com <i>drywall</i> , projeto 3.....	78
Tabela 17 – Pior caso de construtibilidade estrutural, projeto 3	79
Tabela 18 – Melhor caso de construtibilidade estrutural, projeto 3	79
Tabela 19 – Construtibilidade estrutural real, projeto 3	80
Tabela 20 – Valores possíveis de construtibilidade e pontuação mínima exigida, projeto 3 ...	80

Equação 1:	54
Equação 2:	56
Equação 3:	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AdC – Avaliação da Construtibilidade

BDAS – *Buildable Design Appraisal System*

BAM – *Buildability Assessment Model*

BIM – *Building Information Modelling*

CII – *Construction Industry Institute*

CII Australia – *Construction Industry Institute Australia*

CIRIA - *Construction Industry Research and Information Association*

DdC – Diretrizes de Construtibilidade

EdC – Efeitos da Construtibilidade

GFA – *Gross Floor Area*

IdC – Implementação da Construtibilidade

IFC – *Industry Foundation Classes*

LaBIM-SC - Laboratório BIM de Santa Catarina

LSI – *Labour Saving Index*

xBIM – *Extensible BIM*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA	16
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	Objetivo Geral	16
1.2.2	Objetivos Específicos.....	16
1.3	LIMITAÇÕES E DELIMITAÇÕES	17
1.4	QUESTÕES DE PESQUISA	17
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	REVISÃO DA LITERATURA	20
2.1	ORIGENS DA CONSTRUTIBILIDADE.....	20
2.2	DIFERENTES DEFINIÇÕES PARA O CONCEITO.....	22
2.3	ESTUDOS EM CONSTRUTIBILIDADE.....	23
2.3.1	Implementação da Construtibilidade (IdC).....	23
2.3.2	Avaliação da Construtibilidade (AdC)	25
2.3.3	Efeitos da Construtibilidade (EdC)	27
2.4	PUBLICAÇÕES BRASILEIRAS	29
3	EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS	31
3.1	REINO UNIDO	31
3.2	EUA.....	33
3.3	AUSTRÁLIA	34
3.4	SINGAPURA	37
3.5	HONG KONG.....	38
3.6	DISCUSSÃO.....	39
4	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA CONSTRUTIBILIDADE.....	43
4.1	<i>BUILDABLE DESIGN APPRAISAL SYSTEM (BDAS).....</i>	<i>47</i>
4.1.1	Eficácia do Método.....	47

4.1.2	BDAS Code of Practice	50
4.1.2.1	Categorização do edifício	51
4.1.2.2	Construtibilidade do Sistema Estrutural.....	54
4.1.2.3	Construtibilidade do Sistema de Paredes	56
4.1.2.4	Outras Características Construtivas e pontuação bônus.....	56
4.1.2.5	Pontuação final	58
4.2	BIM na AdC	58
4.2.1	Literatura sobre BIM e AdC.....	59
5	AVALIAÇÃO DE PROJETOS.....	62
5.1	PROJETO 1 – CRAS	62
5.2	PROJETO 2 – EDIFÍCIOS EM ALVENARIA ESTRUTURAL	69
5.3	PROJETO 3 – EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM CONCRETO ARMADO	75
5.4	DISCUSSÃO.....	80
6	BIM E CONSTRUTIBILIDADE.....	84
6.1	AdC SOBRE O FORMATO IFC	84
6.1.1	Base Teórica.....	85
6.1.2	Sistema de Paredes	87
6.1.3	Sistema Estrutural.....	89
6.1.4	Outras Características Construtivas	90
6.1.5	Código.....	90
6.1.6	Discussão	93
7	CONCLUSÃO	94
7.1	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	95
	REFERÊNCIAS	96
	APÊNDICE A – BIM na AdC Manual.....	103
	APÊNDICE B – Exemplo de Arquivo IFC	105
	ANEXO A – DdC de Nima, Abdul-Kadir e Jaafar (2001).....	106
	ANEXO B – Tabelas SDBAM	108

ANEXO C – Tabelas originais BDAS.....	110
--	------------

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção é um setor que opera de maneira particular, de acordo com formatos que se estabeleceram naturalmente com o passar dos anos (MOORE, 1996a). Uma das características desse setor é a separação entre o projeto e a construção do edifício. A prática corrente na construção civil é primeiramente concluir o projeto arquitetônico, sobre o qual outros projetos como o estrutural, de instalações e de prevenção serão elaborados. Após isso, executa-se a obra da maneira mais fiel possível aos projetos.

Essa divisão tem a tendência de criar uma “fragmentação” na indústria, com o sentido de que os vários profissionais e empresas envolvidos na construção tendem a se afastar entre si e manter um baixo nível de troca de informações relevantes à obra. Como resultado, é comum que projetistas não consigam ver a construção da perspectiva do construtor, possivelmente gerando problemas de produtividade e qualidade de entrega da obra (GRIFFITH, 1986).

O conceito de construtibilidade surgiu com a intenção de endereçar esses problemas. Construtibilidade, em sua definição mais básica, pode ser vista como “a magnitude na qual o projeto de um edifício favorece a facilidade de construção” (CIRIA, 1983). É entendido também que para criar projetos mais fáceis de serem executados é preciso levar os conhecimentos dos profissionais de construção para a etapa de projeto.

A construtibilidade torna-se então mais um parâmetro da construção, a ser analisada de forma comparativa a parâmetros mais básicos, como o custo. No entanto, não é essa a prática vigente na indústria brasileira. O custo da obra ainda é visto como o fator determinante, se não o único a ser analisado, vide o formato de licitação por menor preço, o formato mais comum no país (ABAURRE 2014).

A construtibilidade é estudada internacionalmente desde a década de 80, de modo que os benefícios obtidos ao se melhorar a construtibilidade já estão bem estabelecidos na literatura. Alguns desses são: aumento da produtividade, maior qualidade da construção, melhoria no relacionamento da equipe e menor dependência de mão de obra (CII, 2012).

A forma como esse conceito se desenvolveu e é aplicado até hoje tem grande dependência do país em questão. Isso resulta que a ideia de se utilizar a construtibilidade como um parâmetro da construção teve níveis diferentes de aceitação pela indústria em cada país, desde o desconhecimento do conceito até a sua inclusão no processo de aprovação legal de projetos (BCA, 2017).

No Brasil, o conceito de construtibilidade foi pouco explorado, sendo desconhecido pela maioria dos profissionais do setor. Porém, já há uma história de pesquisas sobre o tema no país, seguindo uma abordagem bastante homogênea entre elas.

1.1 JUSTIFICATIVA

A visão apresentada por esse trabalho é que a construtibilidade pode ser um conceito bastante benéfico para a indústria da construção, dadas as diversas vantagens a serem obtidas com a melhora desse parâmetro. Para que isso ocorra no contexto nacional, seria preciso primeiramente haver uma conscientização sobre como considerar esse conceito dentro de uma análise de projeto, e quais os benefícios que essa análise pode trazer.

Se propõe aqui uma mudança na abordagem das pesquisas brasileiras publicadas até o momento, baseada na análise das experiências acumuladas com de mais de três décadas de interesse internacional sobre construtibilidade.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Realizar uma análise da literatura nacional e internacional sobre construtibilidade, buscando explorar como o conceito pode ser estudado e aplicado no Brasil.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a literatura existente sobre construtibilidade e determinar quais abordagens de pesquisa sobre o tema tiveram sucesso ou não, incluídas as razões para isso;
- Explorar os pontos em que a pesquisa brasileira deve focar, para desenvolver e difundir a ideia de construtibilidade na indústria nacional;
- Discutir sobre o processo de avaliação da construtibilidade (AdC) e demonstrar esse processo aplicado em projetos;
- Calcular a construtibilidade de projetos brasileiros e sugerir mudanças a esses, com o intuito de aumentar a construtibilidade;

- Identificar os pontos em que as abordagens estrangeiras devem ser customizadas para o contexto do Brasil;
- Demonstrar o uso de novas tecnologias, como o *Building Information Modelling* (BIM), no processo de avaliação da construtibilidade.

1.3 LIMITAÇÕES E DELIMITAÇÕES

A análise feita sobre a literatura em construtibilidade se concentrou em artigos, teses e livros publicados diretamente sobre o tema ou indiretamente relacionados a ele. Só foram exploradas as publicações em língua portuguesa e inglesa.

No trabalho, não se propôs identificar as variáveis que influenciam a construtibilidade. Apesar de esse ser um tópico bastante relevante para o desenvolvimento do conceito no país, seria requerida uma demanda de tempo e esforço muito além de um trabalho a nível de graduação. O foco desse trabalho foi introduzir os conceitos de construtibilidade e avaliação de construtibilidade (AdC), discutindo como estes podem ser aplicados na indústria e estudados em futuras pesquisas.

O capítulo dedicado à integração de BIM com construtibilidade teve somente o propósito de analisar e construir sobre o aspecto da automatização do processo de AdC. A relação geral entre BIM e construtibilidade é um conceito muito mais amplo do que o abordado nesse trabalho.

1.4 QUESTÕES DE PESQUISA

Neste trabalho buscou-se responder às seguintes perguntas:

- Qual a melhor interpretação e definição do conceito de construtibilidade?
- Que abordagens devem ser seguidas em pesquisas nesse tema, com a finalidade de obter uma maior eficiência de resultados e a aceitação da ideia na indústria?
- Qual é o melhor método de quantificação da construtibilidade e quais os seus possíveis usos e limitações na indústria brasileira?
- Como integrar a quantificação da construtibilidade com o BIM?

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O texto não apresenta uma estrutura convencional para um trabalho de conclusão de curso. No presente capítulo é apresentada uma introdução ao trabalho, acompanhada de uma descrição de seus objetivos e estrutura organizacional. No Capítulo 2 (Revisão da Literatura) teve-se o intuito de introduzir o leitor ao tema. Parte da revisão, a qual embasa a análise crítica da literatura, foi feita nos capítulos posteriores a este, onde se direciona a discussão ao tópico específico tratado no capítulo.

No Capítulo 3 é exposta a maneira em que a construtibilidade foi estudada e tratada por diversos países, ao final do qual é delineada uma base lógica para futuras pesquisas em construtibilidade, servindo também de referência aos capítulos seguintes.

No Capítulo 4 são investigados os métodos de AdC conhecidos na literatura e é definido qual o melhor a se utilizar para análises no Brasil. Nesse capítulo também é feita uma revisão da literatura sobre a integração de métodos de AdC com *Building Information Modelling* (BIM). No Capítulo 5 o melhor método é aplicado a projetos brasileiros, testando suas utilidades e fraquezas em determinar a construtibilidade e em fornecer um *feedback* importante, para que possam ser feitas mudanças aos projetos com uma melhor construtibilidade em vista.

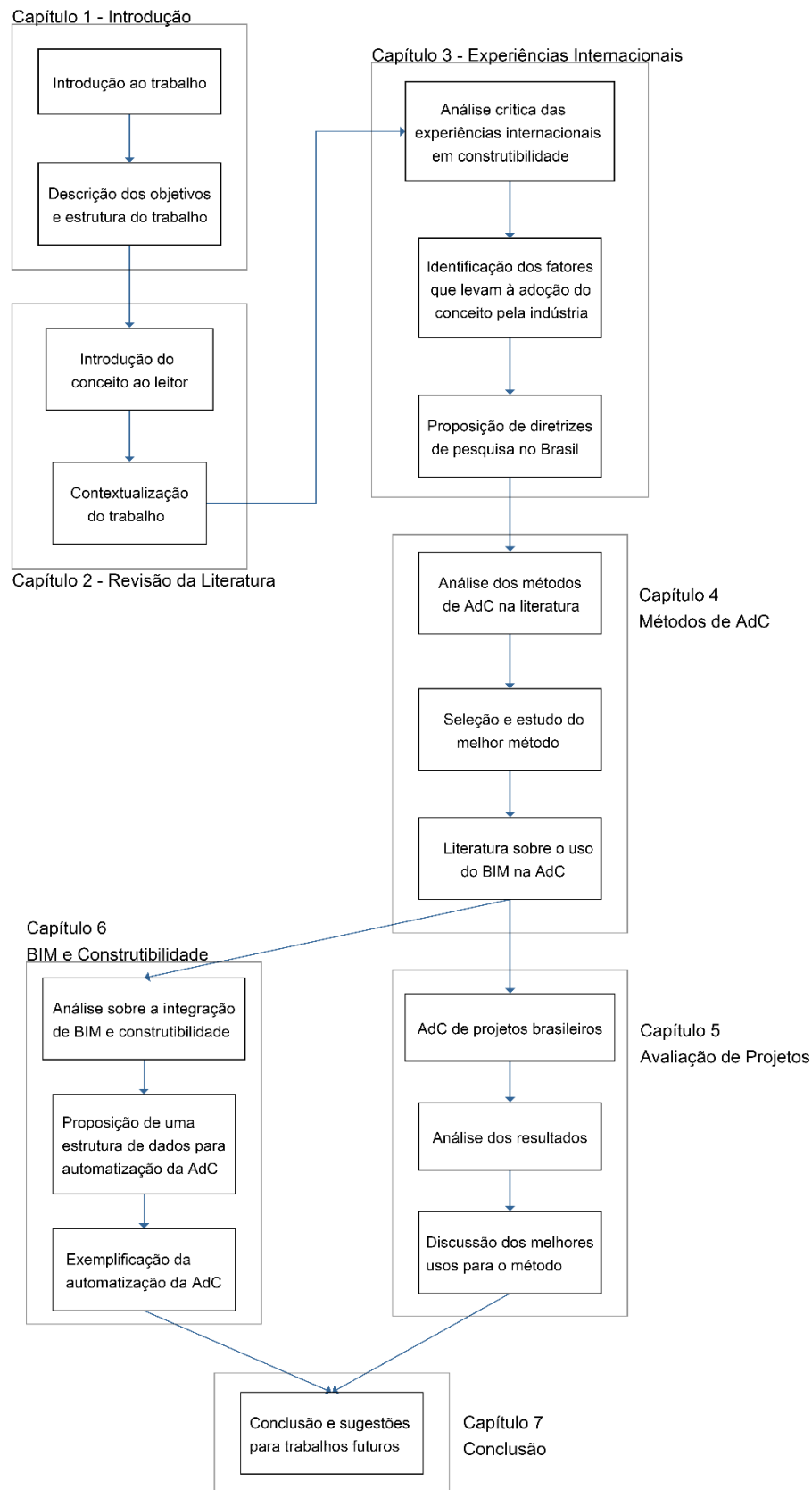
No Capítulo 6 relaciona-se programação, BIM e construtibilidade, buscando agregar conhecimento à literatura em automatização da AdC. Após isso, finaliza-se o trabalho com o Capítulo 7, a Conclusão.

Conforme descrito nesse capítulo, o objetivo principal do trabalho é explorar maneiras de estudar e aplicar a construtibilidade no Brasil, sendo então interessante ter uma visão histórica do que foi feito, do que é aplicado no momento e das perspectivas futuras. A intenção da estrutura de capítulos foi retratar essa divisão entre passado, presente e futuro da construtibilidade.

Nos Capítulos 2 e 3 é feita uma discussão reflexiva sobre como o tema foi tratado no passado e as lições a se aprender com isso. Nos Capítulos 4 e 5 trata-se sobre uso de métodos de AdC, buscando aplica-los no presente para projetos nacionais. Já no Capítulo 6 são utilizados os capítulos anteriores como base para acrescentar informações à literatura sobre o uso do BIM na AdC, focando no futuro das pesquisas em construtibilidade.

No Fluxograma apresentado na Figura 1 estão contidas as principais etapas do trabalho e como essas se organizam dentro da estrutura de capítulos.

Figura 1 - Fluxograma explicativo da estrutura do trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor

2 REVISÃO DA LITERATURA

Para uma melhor compreensão dos temas tratados nesse trabalho e os seus objetivos, é importante primeiramente entender o que é construtibilidade, de que forma ocorreu seu desenvolvimento conceitual e como ela tem sido aplicada. Nesse capítulo presou-se então por introduzir o tema ao leitor, enquanto parte da análise bibliográfica é feita nos capítulos seguintes.

2.1 ORIGENS DA CONSTRUTIBILIDADE

Segundo a literatura, as primeiras pesquisas relacionadas à construtibilidade se deram no início da década de 60, no Reino Unido. O *Emmerson Report* (1962), em particular, é apontado como a primeira publicação a tratar do tema, apesar do termo “construtibilidade” não aparecer nela. O título, popularizado como “*Emmerson Report*”, é o nome do *Survey of Problems before the Construction Industries*, um relatório encomendado pelo governo inglês e publicado em 1962 por Lord Emmerson. A função desse estudo era investigar o estado em que se encontrava a indústria da construção na época e propor, a partir disso, maneiras de melhorar o formato em que clientes, projetistas, construtores e outros profissionais da área se relacionavam (FRANCIS et al., 1999).

A motivação por trás do relatório foram os baixos índices de produtividade que a indústria da construção apresentava no país. A causa desses problemas, conforme descrita no documento, era que “em nenhuma outra indústria a responsabilidade pelo projeto está tão distante da reponsabilidade pela produção” (EMMERSON, 1962 apud MOORE, 1996a, p. 56). Pode-se dizer que o relatório não trouxe informações diretamente relacionadas à construtibilidade, porém serviu um papel motivacional, ao destacar os problemas decorrentes de separar os processos de projeto e execução de uma obra.

Juntamente com o *Emmerson Report*, outros relatórios de relevância ao tema foram encomendados pelo governo britânico. Desses, o que obteve mais reconhecimento foi o *Banwell Report* (1964), cuja função era investigar de que forma o uso de modelos contratuais padrão afetavam a indústria. A conclusão do relatório foi que esses modelos criavam um comportamento de proteção e ocultação de informações entre as empresas do setor, fragmentando a comunicação e prejudicando a produtividade. No mesmo relatório, o padrão de licitações por menor preço foi criticado, sendo sugerida a criação de um formato que levasse outros parâmetros em consideração, solicitação que na época não foi aceita (DBW, 2016).

Houve poucas publicações de relevância para o tema até o ano de 1983, quando o termo foi finalmente definido (RUSSEL et al., 1994). Esse processo ocorreu com estudos iniciados em 1979 pela *Construction Industry Research and Information Association* (CIRIA), também no Reino Unido.

A CIRIA é uma organização não governamental, envolvida com a indústria da construção. Na época a organização estava desenvolvendo recomendações a empresas que operavam sob os modelos de contrato padrão. Durante esse estudo a CIRIA fez diversas entrevistas com construtores, que comentavam sobre a baixa “construtibilidade” (*buildability*) causada pela má relação com os projetistas. A terminologia “baixa construtibilidade” era utilizada ao se falar do baixo nível de retorno que seus clientes estavam recebendo pelos valores investidos (MOORE, 1996b, p. 6). No entanto, o termo ainda não era utilizado de maneira uniforme, ou baseado em uma definição formal. A CIRIA (1983, apud WONG, 2007, p. 25) visualizou então a oportunidade de criar a primeira definição para o termo: “Construtibilidade é a magnitude na qual o projeto de um edifício favorece a facilidade de construção, subordinado aos requisitos gerais para o edifício concluído”

A partir dessa definição pôde-se estabelecer uma base para todas as pesquisas subsequentes no tema, de modo que essa ainda é a definição mais citada e utilizada internacionalmente (WONG et al., 2006). Em conjunto, a CIRIA reiterou a relação entre construtibilidade e a fragmentação da indústria, apontada anteriormente pelos *Emmerson* e *Banwel Reports* (MOORE, 1996b, p. 4): “A obtenção de uma boa construtibilidade depende de que projetistas e construtores sejam capazes de ver todo o processo da construção com o olhar do outro”.

A ideia central por trás do conceito estava então consolidada. A construtibilidade é um termo representativo da facilidade de construção, que é intimamente dependente da integração de ideias das diferentes partes envolvidas em uma construção.

2.2 DIFERENTES DEFINIÇÕES PARA O CONCEITO

Após ser estabelecida uma primeira definição, houve um interesse de pesquisadores e organizações de vários países em estudar a construtibilidade e a forma como essa poderia influenciar a indústria. A internacionalização das pesquisas também logo gerou divergências na forma em que a construtibilidade era abordada, principalmente devido à dificuldade de delimitar os fatores que influenciam o conceito. Essas divergências geralmente se agrupam em duas abordagens distintas, que acompanham também uma diferença de terminologia: “*constructability*” e “*buildability*”. Ambos os termos são sinônimos e traduções literais de construtibilidade, sendo derivados da terminologia usada nos Estados Unidos e Grã-Bretanha, respectivamente (PIVOVAROFF, 1996).

Ao empregar as palavras “projeto de um edifício”, a definição de construtibilidade da CIRIA demonstra a centralização do conceito em torno do projeto. Como consequência desse raciocínio, o termo original, *buildability*, continua até hoje sendo usado intencionalmente quando se deseja fazer referência à definição clássica de construtibilidade. Nos Estados Unidos, no entanto, tal interpretação é raramente utilizada.

Devido a particularidades da indústria da construção nos Estados Unidos, foi considerado vantajoso expandir a análise da construtibilidade para além do projeto. Assim, todas as etapas de uma obra, desde sua concepção preliminar até a entrega, podem ser ponderadas em uma análise de construtibilidade do edifício (CHEETHAM; LEWIS, 2001). Para a construtibilidade com esse sentido, a maioria das publicações utilizam o termo *constructability*.

Enquanto a definição da CIRIA continua sendo a principal referência de *buildability*, existe uma variedade de definições utilizadas para *constructability*. Apesar de não haver concordância total entre elas, a maioria se mantém em torno da “facilidade de construção”. Pode ocorrer também a adição de conceitos relacionados, como otimização e qualidade (WONG, 2007). A definição de *constructability* mais referenciada é a da associação americana da indústria da construção, o *Construction Industry Institute* (CII):

Construtibilidade é o uso otimizado do conhecimento e experiência de construção em planejamento, projeto, contratação e operação em campo para se obter os objetivos gerais de projeto (CII, 2012, p. 45).

Mesmo com suas diferenças, *buildability* e *constructability* são tratadas na literatura como duas visões do mesmo conceito. Os resultados de pesquisas dos dois termos são também, na maioria das vezes, comparados entre si na literatura de forma qualitativa. (WONG, 2007).

Há também casos específicos em que a diferença de terminologia não resulta tão claramente em uma diferença de ideias. Um exemplo é a Austrália, onde o termo *constructability* foi utilizado para ambas vertentes de definição (FRANCIS 1999). No caso do Brasil, o termo “construtibilidade” é o único utilizado, cabendo a cada publicação definir o significado atribuído ao conceito.

2.3 ESTUDOS EM CONSTRUTIBILIDADE

A construtibilidade já foi abordada sob diversas perspectivas, dependendo principalmente do local e ano em que foi estudada. No entanto, há poucas divisões formais na literatura que delimitem ramificações de pesquisa no tema.

Nesse trabalho foram delimitadas três categorias principais de pesquisa em construtibilidade, com o intuito de facilitar a compreensão e discussão dos conceitos daqui a frente. Vale ressaltar que nem todas as publicações se encaixam perfeitamente nessas categorias. No entanto, foi observada uma tendência de cada pesquisa em tratar sobre um desses itens com maior prioridade que os demais. A seguir é apresentado um panorama geral dessas três categorias.

2.3.1 Implementação da Construtibilidade (IdC)

Essa categoria de pesquisa concentra publicações voltadas a determinar o que afeta a construtibilidade e como as empresas podem implementar esses conhecimentos no seu processo interno de funcionamento. A maior parte dessas pesquisas foram desenvolvidas até o final da década de 90, em vários casos com uma parceria de anos entre pesquisadores e membros do setor privado (PIVOVAROFF, 1996).

Devido à existência de várias definições e interpretações de construtibilidade, é esperado que diferentes publicações apresentem diferentes focos e abordagens para o assunto. No entanto, há certa concordância sobre os fatores mais influentes na construtibilidade, geralmente relacionados à introdução da “experiência de construção” na fase de projeto. Esses fatores foram enumerados na maioria das vezes em forma de princípios heurísticos, a fim de auxiliar os projetistas a tomarem decisões práticas.

Tais princípios são nomeados “diretrizes de construtibilidade” (*constructability guidelines*) pela literatura, ou pela sigla DdC neste trabalho. Uma das publicações mais citadas nesse tema é a de O’Connor, Rusch e Schulz (1987; apud CROWTER, 2002, p. 6), que descreve sete diretrizes principais para a construtibilidade, conforme apresentadas a seguir:

- Planejamento e programação focados na construção;
- Simplificação do projeto;
- Padronização e repetição de elementos de projeto;
- Desenvolvimento de especificações para eficiência da construção;
- Projetos com uso de sistemas modulares para incentivar a pré-fabricação e facilitar a instalação;
- Projetos devem permitir o acesso de trabalhadores, materiais e equipamentos;
- Projetos devem facilitar a construção sob condições de tempo adversas.

Com similaridades às DdC anteriores, os princípios da CIRIA (1983, apud HASSAN, 1997, p. 35) também receberam notoriedade:

- Conduzir minuciosas investigações e elaboração do projeto;
- Planejar os requisitos essenciais da produção do canteiro;
- Planejar uma sequência prática de operações de construção e um rápido fechamento do canteiro;
- Planejar para a simplicidade de montagem e sequências lógicas de ofícios;
- Detalhar para uma máxima repetição e padronização;
- Detalhar com tolerâncias atingíveis;
- Especificar materiais robustos e apropriados.

Existem também autores que definiram DdC em listas tanto maiores quanto menores que as apresentadas. Nima, Abdul-Kadir e Jaafar (2001), por exemplo, fornecem uma lista extensa de princípios a serem seguidos para cada fase da elaboração do projeto, sendo esses disponibilizados no Anexo A. Já Adams (1989, apud CROWTER, 2002, p. 5), ao discutir sobre as diretrizes da CIRIA, descreve em sua interpretação as três principais DdC:

- Simplicidade;
- Padronização;
- Comunicação clara.

Os princípios de Adams seriam tomados novamente como referência alguns anos depois em Singapura, assunto discutido nos próximos capítulos.

Algumas publicações são focadas somente em DdC, com o objetivo de descrever e discutir as diretrizes. Já outras se baseiam em diretrizes pré-definidas de autores conceituados e estudam sua aplicação na indústria. Estes estudos de “implementação da construtibilidade”, chamados de IdC nesse trabalho, tentam introduzir em empresas o uso das diretrizes durante o “ciclo de vida” de um projeto (NEVES, 2012).

Focadas em IdC, diversos autores desenvolveram metodologias complexas e variadas para implementar a construtibilidade nos processos internos de empresas. Um bom exemplo é a metodologia fornecida pelo CII (2012, p. 45), com uma lista extensa de etapas, ditando como criar e operar uma equipe voltada à garantia da boa construtibilidade das obras. Alguns desses passos são reproduzidos abaixo.

- Entender objetivos, métodos, conceitos e barreiras de construtibilidade;
- Apontar um líder de construtibilidade;
- Definir objetivos e medidas de construtibilidade;
- Desenvolver uma equipe de construtibilidade;
- Aplicar conceitos e procedimentos de construtibilidade;
- Avaliar a efetividade do programa.

2.3.2 Avaliação da Construtibilidade (AdC)

Desde a década de 80 há discussões sobre como quantificar a construtibilidade. A intenção principal dessas pesquisas era, a partir de DdC, criar processos bem definidos de quantificação do conceito, que poderiam auxiliar as equipes de projetos a avaliar o nível de construtibilidade de uma obra. Isso proveria uma forma mais fácil e objetiva de se introduzir os conhecimentos de construção na fase de projeto.

A opinião acadêmica sobre o assunto foi inicialmente bastante variada, já que era entendido por alguns que o conceito era muito amplo para ser quantificado por um sistema genérico. Ou então, que tais métodos só poderiam ser úteis para alguns aspectos da construtibilidade, sem poder ser adotada uma abordagem geral para o problema (MOORE, 1996b).

A ideia também recebeu grande criticismo de profissionais envolvidos na fase de projeto, principalmente os arquitetos, que viam a proposição de métodos determinísticos como uma invasão de sua liberdade criativa. Ideias importantes para a construtibilidade, como “padronização” e “simplificação” do projeto, intensificavam ainda mais a aversão desses profissionais à ideia (LAWSON, 2006). Mesmo com o forte criticismo, essas pesquisas foram levadas à frente na academia, resultando no desenvolvimento dos métodos de “avaliação da construtibilidade” (*buildability assessment*), referidos como AdC neste trabalho.

É importante destacar que é uma prática comum quantificar a construtibilidade em publicações com foco em DdC. No entanto, isso é geralmente feito a partir de processos subjetivos, baseados no atendimento das diretrizes apresentadas pelos autores. Esse tipo de publicação, por não possuir caráter determinístico ou metodologia clara, não será levada em consideração nos próximos capítulos nos quais será tratada a AdC, embora na literatura isso ocorra eventualmente.

Segundo Moore (1996b), os primeiros métodos de avaliação foram desenvolvidos na década de 70, fazendo parte de estudos britânicos para quantificar a facilidade do uso de guindastes no canteiro de obras. Nas décadas de 80 e 90 foram desenvolvidos diversos métodos de AdC, que tinham já na época a intenção de funcionar em conjunto com recursos computacionais. Alguns desses métodos eram dependentes do feedback do usuário, enquanto outros já previam a operação automatizada dentro de programas de desenho (HASSAN, 1997). Os fatores principais analisados por esses métodos eram o *layout* da estrutura e outros parâmetros geométricos, assim como métodos construtivos a serem utilizados.

Apesar de inicialmente representarem uma parte pequena do volume de publicações no tema, as pesquisas em AdC ganharam um destaque importante no início dos anos 2000, continuando até hoje (LAM et al., 2012). Isso se deve principalmente à experiência satisfatória do governo de Singapura, que durante os anos 90 desenvolveu um método próprio de avaliação e posteriormente o tornou obrigatório para a aprovação de projetos no país. Os bons indicadores da indústria resultantes dessa medida motivaram pesquisas em diversos países e o desenvolvimento de novos sistemas de AdC. Esse tema é discutido com mais profundidade no Capítulo 4.

2.3.3 Efeitos da Construtibilidade (EdC)

Um dos grandes interesses iniciais das pesquisas em construtibilidade era definir os efeitos que essa poderia ter na indústria, em especial seus benefícios. Há então um volume significativo de publicações no tópico, o abordando sob várias perspectivas, desde análises restritas às variáveis de projeto até as que englobam todo o processo construtivo. Também existem publicações no assunto que se mantêm restritas ao campo teórico.

Essa diversificação de perspectivas é vantajosa na medida em que resultados obtidos sob diferentes metodologias validam tendências gerais, nesse caso dos indicadores mensuráveis em relação à construtibilidade. No entanto, torna-se difícil comparar os resultados em termos de valores, já que não há uma relação direta entre as diferentes perspectivas de estudo.

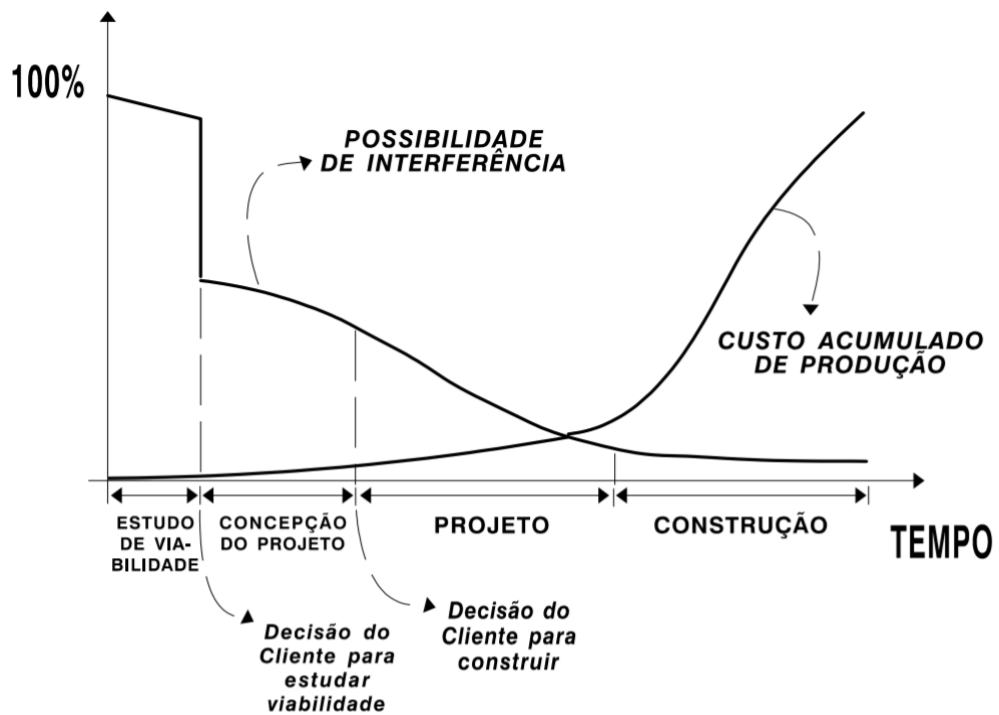
Considerando ambas as implicações, devido ao fato de haver diversos estudos no assunto torna-se seguro estabelecer tendências qualitativas gerais para o tópico. Alguns dos principais efeitos da construtibilidade (EdC) segundo a literatura são (CII, 2012; WONG, 2007):

- Redução do custo geral de projeto;
- Redução de trabalho intensivo;
- Aumento na velocidade de execução;
- Melhor qualidade de execução;
- Aumento da segurança no canteiro;
- Diminuição do retrabalho;
- Aumento na produtividade;
- Menor ocorrência de problemas não previstos;
- Melhor relacionamento de equipe;
- Aumento na satisfação do cliente.

Para fornecer uma base de valores, o CII (2012) destaca que se seguido o seu protocolo de IdC são esperados, em média, uma economia no total do projeto de 4,3% e uma redução da duração da obra de 7,5%.

Um assunto de grande importância para as publicações em EdC é o momento em que considerações sobre construtibilidade começam a influenciar o projeto. É amplamente reconhecido na literatura que quanto antes houver uma preocupação com a construtibilidade, melhores serão os resultados obtidos, pois será mais fácil fazer as mudanças necessárias no projeto. Curvas como a da Figura 2 são comumente apresentadas na literatura para exemplificar de forma simplificada essa condição.

Figura 2 – Relação genérica entre custo de mudanças pelo avanço do projeto



Fonte: Melhado (1994, apud HAMMARLUND; JOSEPHSON, 1992)

2.4 PUBLICAÇÕES BRASILEIRAS

Além das pesquisas em contexto internacional, foi também necessário revisar a literatura produzida no Brasil. O número de publicações no país ainda é pequeno, apesar de haver interesse contínuo no tópico. A seguir é feita uma breve análise sobre as publicações nacionais encontradas e a significância delas para o presente trabalho.

Heineck e Rodríguez (2003) proveram exemplos do significado e da aplicação de DdC no processo do projeto. Saffaro, Santos e Heineck (2004) também repetem esse formato, focando mais nas decisões posteriores ao projeto. Em sua dissertação de mestrado, Rodrigues (2005) se concentrou no estudo de diretrizes de construtibilidade para obras de caráter repetitivo. Além disso, foi proposto um sistema de AdC através do cumprimento de um *checklist*. Nesse, cabe ao avaliador pontuar cada item analisado como “sim”, “parcialmente” ou “não” satisfeito.

Amancio (2010) seguiu o viés de Rodrigues, mas com o foco voltado a escritórios de arquitetura. Um método de AdC foi sugerido por Amancio (2010), no qual especialistas, nomeados “juízes”, avaliariam de forma subjetiva a adequação da obra às diretrizes de construtibilidade pré-estabelecidas. Yogui (2012) trouxe uma perspectiva um pouco diferente, analisando em sua dissertação as barreiras de relacionamento que prejudicam a construtibilidade no contexto de megaprojetos. Rodrigues e Gonçalves (2015) apresentam as DdC propostas por O'Connor e se aprofundam nos conceitos contidos nela. Barbosa e Andery (2015) estudaram um programa de IdC em uma empresa construtora.

Narloch (2015) em sua dissertação de mestrado desenvolveu um método de AdC. No entanto, pode-se dizer que seu método não se baseia somente nas ideias clássicas de construtibilidade, mas também engloba outros conceitos mais relacionados à “racionalização” do projeto. Por Narloch (2015), o valor de construtibilidade é calculado a partir de diversas variáveis, desde razões de área entre cômodos até densidade de elementos, como paredes e janelas.

É crucial destacar que dentre as publicações brasileiras citadas acima, todas definiram construtibilidade segundo o conceito americano (*constructability*). Os temas de quase todas as pesquisas também foram muito similares, podendo ser claramente agrupados nas categorias de IdC. A estrutura dos trabalhos também refletiu essa semelhança. A maior parte consiste em uma seleção de diretrizes a partir da bibliografia, seguida do desenvolvimento de uma metodologia para implementá-las em empresas.

O conceito de AdC apareceu em vários dos trabalhos brasileiros, sendo que alguns chegaram a quantificar a construtibilidade de projetos em suas publicações. No entanto, houve poucas referências a trabalhos internacionais no tema. Sendo um assunto que apresentou grande desenvolvimento durante as últimas duas décadas, a falta de conexão com essas publicações torna defasada a pesquisa brasileira em construtibilidade. Deve-se também destacar que o trabalho de Narloch (2015) apresenta uma abordagem mais sofisticada ao tema de AdC. No entanto, a interpretação de construtibilidade no presente trabalho é diferente do da apresentada pela autora, o que limita as comparações que podem ser feitas.

Pode-se concluir que no Brasil a academia tem interesse na construtibilidade. No entanto, as pesquisas brasileiras até o momento tiveram um foco limitado a alguns aspectos do tema. Na visão do autor, há uma lacuna a ser preenchida por novas publicações que, pelas razões discutidas a frente, favoreçam métodos de AdC.

3 EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS

Nesse capítulo foi feita uma análise de como a construtibilidade foi abordada internacionalmente, com a finalidade de observar práticas e tendências que possam auxiliar a pesquisa sobre construtibilidade e a expansão do conceito no Brasil. A análise foi estruturada segundo os países mais relevantes no desenvolvimento da construtibilidade, já que o tema tem grande dependência dessa variável.

Vale ressaltar que não foi encontrada na literatura uma análise com esse teor, tanto em inglês quanto em português. Pode-se citar Wong (2007) como o que trouxe um conteúdo mais próximo ao deste capítulo.

3.1 REINO UNIDO

Conforme explicado anteriormente, o Reino Unido é um local de grande importância para o surgimento da construtibilidade como conceito, provendo os primeiros textos motivadores do tema e a primeira definição formal desse. Dentre outras publicações relevantes providas do Reino Unido pode-se destacar as de Alan Griffith e David Moore.

Durante as décadas de 80 e 90, Alan Griffith se caracterizou como um dos primeiros e mais relevantes pesquisadores no tópico (GRIFFITH, 1986). Suas publicações eram voltadas principalmente para a conscientização da indústria sobre o que é a construtibilidade e a grande importância de considerá-la como parâmetro de projeto.

Vários dos argumentos feitos pelo autor nesse período se tornariam posteriormente padrão na literatura. Alguns pontos principais foram elencados em Griffith e Sidwell (1995):

- O processo padrão de elaboração de projetos não tem como foco o processo de produção do construtor;
- Formas não tradicionais de contrato tendem a favorecer a integração entre construtores e projetistas e um consequente aumento na construtibilidade;
- A principal função do projeto é atender a demanda financeira dos clientes. No entanto, deve-se colocar ênfase na simplificação desse no que concerne à facilidade de construir em campo;
- A construtibilidade não deve ser tratada como uma imposição, mas deve ser uma parte implícita no processo de construção;

- Uma maior construtibilidade não implica em uma menor qualidade ou pior *design* da construção;
- As considerações sobre construtibilidade devem se iniciar o mais cedo possível no ciclo de vida de um projeto. Dessa forma, decisões adotadas nas fases mais preliminares têm um maior potencial de influenciar os resultados dos projetos.

Também com pesquisas de cunho mais teórico, David Moore foi outro pesquisador britânico influente durante os primeiros anos de estudo sobre o tema. Em suas publicações, Moore (1996a) definiu o que já havia se chamado de “fragmentação” da indústria, apontando quatro fatores principais que a influenciam:

- Baixa especialização da mão de obra no setor;
- Falta de prototipagem;
- A organização da indústria, onde o projeto é normalmente separado da construção e há a ocultação de informação crucial entre as partes;
- O planejamento do processo de construção.

Moore (1996b) também foi um dos primeiros pesquisadores a discutir com profundidade a questão de AdC. Em sua opinião, era impossível atribuir um valor único de construtibilidade para o projeto como um todo, devido à alta complexidade que este compreende. O processo de avaliação deveria então ocorrer para a análise de certos sistemas ou eventos da construção.

Duas metodologias principais para o melhoramento da construtibilidade foram definidas por Moore (1996b): a padronização (*standardisation*) e a simplificação (*simplification*). A primeira se refere à redução de componentes utilizados na construção, enquanto a segunda à diminuição das complexidades da obra no que depende do projeto. O autor também foi um dos primeiros a promover o uso de ferramentas computacionais para a avaliação automatizada da construtibilidade (MOORE, 1996a).

Outros autores tiveram seu papel no desenvolvimento da construtibilidade no Reino Unido até o final do século XX. No entanto, após os anos 2000 o interesse sobre o tópico diminuiu drasticamente no país, sinalizado pela falta de publicações desde essa época até a atualidade.

Ao mesmo tempo, não é possível dizer que os problemas de baixa construtibilidade foram solucionados no país. O Reino Unido continua com uma indústria seriamente fragmentada e com baixa produtividade (AKINTOYE; MCINTOSH; FITZGERALD, 2000; DAINTY et al., 2015). Além da escassez de pesquisas, também não foram encontradas evidências de que a indústria utiliza o conceito ou o considera importante.

Pode-se então dizer que o Reino Unido foi o berço dos estudos em construtibilidade, fornecendo também um forte embasamento teórico para o tema. Atualmente, o assunto é pouco abordado no país, perdendo sua relevância acadêmica no contexto internacional.

3.2 EUA

As pesquisas sobre construtibilidade nos Estados Unidos começaram já em 1983, logo após o termo ser definido. Conforme explicado na Revisão da Literatura, o sentido de construtibilidade (*constructability*) no país se relaciona com todas as fases de uma obra, do projeto à construção.

Segundo Cheetham e Lewis (2001), essa interpretação surgiu com o intuito de adaptar a construtibilidade para o contexto da indústria americana, cuja “cultura” é radicalmente diferente da maioria dos países. Com o termo cultura, esses autores fazem referência aos modelos contratuais utilizados comumente no país, em especial o de *Construction Management*. Nessa opção contratual, a obra conta com a figura do *Project Manager*, profissional cuja função é coordenar todas as outras partes envolvidas no processo da construção. Um resultado automático é a diminuição da responsabilidade e protagonismo dos outros profissionais: arquitetos geralmente se limitam ao *design* conceitual, com a criação de pranchas e detalhes sendo delegadas para profissionais especializados na atividade, tanto nas fases de projeto quanto durante a obra.

Em geral, as pesquisas em construtibilidade no país fizeram uso dessa configuração da indústria e enfatizaram o desenvolvimento de sistemas de gerenciamento, na forma de programas de IdC. Outras abordagens de pesquisa, como o aumento da construtibilidade com foco no projeto e AdC, foram significativamente menos estudadas.

O volume de publicações em construtibilidade provindo dos Estados Unidos foi bastante significativo. Esses estudos chegaram a envolver pesquisadores universitários, grandes organizações, como o CII, e o exército americano (GYBSON, 1995). O escopo das pesquisas também foi amplo, com publicações se estendendo além da construção urbana, até a construção

naval (SNYDER, 1985) e de estradas (HUGO; O'CONNOR; WARD, 1990). Enquanto as pesquisas do Reino Unido tiveram um caráter claramente teórico, o foco americano foi a aplicação do conceito na indústria.

O nível de aceitação e uso da construtibilidade por empresas de projeto foi estudado por Arditi, Elhassan e Toklu (2002). Foi encontrado que 90% das empresas de projeto conheciam o que era construtibilidade, existindo procedimentos formais de IdC na maioria dessas. A receptividade das empresas de projeto à construtibilidade foi muito mais significativa que a das construtoras, das quais 90% não conheciam o termo (UHLIK; LORES, 1998 apud ARDITI; ELHASSAN; TOKLU, 2002, p. 119).

O interesse quase exclusivo das empresas de projeto demonstra que os complexos programas de IdC não estavam sendo utilizados, já que estes necessariamente envolveriam uma parceria direta com as empresas responsáveis pela execução da obra. No lugar, programas mais simples como o “*peer review*”, a avaliação do projeto por outros profissionais da área, eram as práticas voltadas à construtibilidade mais utilizadas pelas empresas.

Após os anos 2000, o volume de publicações no tema diminuiu gradualmente, apesar da construtibilidade ainda ser vista no país como uma boa forma de redução de custos e racionalização da construção. Esse cenário sugere uma saturação de pesquisas com a abordagem padrão americana, de IdC, devido ao grande número de publicações existentes. Há também o baixo grau de inovação permitido nesse tipo de pesquisa, devido à própria natureza conservadora da indústria (MOORE, 1996a). Devido a isso, novas publicações em construtibilidade no país se afastam da visão tradicional da academia, assunto que será discutido no Capítulo 6.

3.3 AUSTRÁLIA

A pesquisa em construtibilidade na Austrália começou ao final da década 80, mas tomou maiores proporções a partir dos esforços da *Construction Industry Institute Australia* (CII Australia). Essa organização, com função análoga ao CII dos Estados Unidos, se baseou nas pesquisas de Francis (1994, apud PIVOVAROFF, 1996) para produzir o primeiro documento sobre construtibilidade no país, nomeado de *Constructability Principles File*. A “Força Tarefa de Construtibilidade”, como foi chamada essa parceria da indústria com acadêmicos, reuniu no documento informações básicas sobre construtibilidade, para uma primeira conscientização sobre o tema, e um *software* de banco de dados que poderia compartilhar informações de construtibilidade (PIVOVAROFF, 1996).

É notável na experiência australiana a velocidade com que o interesse no conceito se desenvolveu. A indústria e a academia se uniram com a finalidade de desenvolver uma cultura de construtibilidade no país, adaptada ao contexto australiano. Foi rápido quando a vinda foi a queda da popularidade do tema. Após o ano 2000, as pesquisas e o interesse na construtibilidade quase desapareceram do país. A importância de incluir a Austrália nessa análise é devido a forma diferenciada como a construtibilidade foi tratada no país, tanto na questão conceitual quanto em sua abordagem.

O termo em inglês utilizado para construtibilidade foi “*constructability*”, seguindo a terminologia americana. No entanto, a primeira definição usada pelo CII Austrália descrevia construtibilidade como:

Um sistema para a obtenção da integração ótima entre o conhecimento de construção no processo de entrega do projeto e no balanceamento das várias restrições ambientais e de projeto para se atingir a maximização das metas do projeto e performance de construção (FRANCIS et al., 1999, p. 135).

Essa definição, um tanto complexa, coloca uma clara ênfase na fase de projeto, uma característica que se assemelha mais ao conceito de *buildability*. Em anos seguintes, outros autores e o próprio CII Austrália utilizariam definições diferentes da apresentada acima, que se aproximavam mais da abordagem americana (FRANCIS et al., 1999). Essa afinidade com a abordagem americana é também esperada, considerando que a indústria australiana tem grande semelhança a dos Estados Unidos, dentre os aspectos tratados neste capítulo (CHEETHAM; LEWIS, 2001).

A existência da Força Tarefa de Construtibilidade teve um papel muito importante no desenvolvimento do conceito no país. O maior interesse dessa equipe foi tornar a construtibilidade um aspecto integrante da indústria e de sua operação. Com esse fim, houve diversas iniciativas promovidas pelo grupo na década de 90, sendo algumas descritas abaixo (FRANCIS et al., 1999; PIVOVAROFF, 1996):

- Reconhecimentos de áreas chave para pesquisas

Houve primeiramente uma reunião de pesquisadores e membros da indústria para definir quais as principais áreas que deveriam ser endereçadas para se garantir resultados satisfatórios.

- *Workshops* de treinamento

Diversos *workshops* foram conduzidos dentro do país com a finalidade de educar os profissionais da área sobre o conceito. Por esses *workshops*, se pretendia remover barreiras para a implementação da construtibilidade na indústria.

- Coleta de dados

Juntamente com os *workshops*, a força tarefa ia às empresas para coletar informações, que poderiam fornecer evidências sobre os benefícios da construtibilidade ou ajudar na revisão das informações já existentes.

- *Framework* de construtibilidade

Consistia de uma estrutura de textos instrucionais sobre a construtibilidade, escritos de forma “amigável à leitura”. Os trabalhos focavam principalmente na IdC em empresas, de forma semelhante aos trabalhos americanos.

- Banco de dados da indústria

Talvez a iniciativa mais interessante da força tarefa tenha sido a concepção teórica de um banco de dados da construtibilidade. Nesse, as empresas teriam acesso livre para dividir suas experiências com construtibilidade, de forma a armazenar e repassar os conhecimentos aprendidos. Apesar da grande motivação inicial por trás do projeto, não foi possível encontrar evidências de que esse banco de dados tenha sido implementado em algum momento.

Outra informação importante é o fato da Austrália ter a primeira parceria público-privada que pôde ser encontrada na literatura. Essa se deu com a concessão de recursos para uma pesquisa colaborativa de três anos entre o CII Australia e a universidade de Newcastle, na Grã-Bretanha (FRANCIS et al., 1999). Tal parceria demonstra a seriedade das pesquisas conduzidas pelo CII Australia e a força tarefa.

Não é claro na literatura o que desmotivou maiores pesquisas após o início do século. O provável é que ocorreu um cenário similar ao dos Estados Unidos: uma saturação de informação acadêmica sobre IdC, sem haver a contrapartida necessária da indústria em fazer mudanças radicais na sua estrutura organizacional. De qualquer maneira, a indústria australiana é atualmente uma das que exibem menos problemas relacionados à baixa construtibilidade no mundo (RICHARDSON, 2014).

3.4 SINGAPURA

O desenvolvimento da construtibilidade no país tem uma história bastante diferenciada. Isso porque, ao contrário dos outros países citados, o interesse em pesquisar e aplicar a construtibilidade veio principalmente do governo.

Na década de 90 o país se via com uma indústria bastante ativa, que demandava um grande volume de mão de obra. Devido às características geopolíticas de Singapura, essa mão-de obra não conseguia ser suprida somente pela população local, de forma que a indústria se encontrava dependente de trabalho estrangeiro para operar. Com o objetivo de atenuar essa dependência, o governo se comprometeu a diminuir a necessidade de mão de obra na indústria (LAM; WONG; TIONG, 2006).

A solução encontrada foi fazer com que se adotasse um método de AdC, elaborado especificamente para reduzir a dependência de mão de obra em Singapura. O *Buildable Design Appraisal System* (BDAS), como foi nomeado, se baseou em um sistema usado pela Takenaka, uma construtora multinacional japonesa. Em 1993 esse método começou a ser aplicado nas obras públicas do país e em 1997 se instituíram premiações para os projetos privados com maior construtibilidade. A partir do ano 2001, todos os novos projetos e reformas com uma área maior que 2000 m² foram obrigadas a obter um valor mínimo de construtibilidade para aprovação legal (BCA, 2017).

O BDAS é baseado em 3 princípios, chamados de 3S da construtibilidade: *Simplicity*, *Standardisation* e *Single Integrated Elements*. Os dois primeiros têm um significado análogo ao definido por Moore (1996a), conforme descritos nesse capítulo. Já o último se refere à construção modular, como o uso de banheiros pré-fabricados.

A “pontuação de construtibilidade” (*buildability score*) é obtida somente a partir de dados presentes no projeto, que podem ser de caráter geométrico ou estarem relacionados aos sistemas construtivos utilizados. Os valores base para esse cálculo foram obtidos a partir da regressão de dados internacionais, onde se analisou a produtividade das construções em função das características dos projetos.

Tal abordagem de pesquisa destoou bastante do enfoque americano e australiano. A construtibilidade se desenvolveu em Singapura a partir de práticas numéricas e determinísticas de AdC, dando-se pouca relevância à IdC.

Pode-se dizer que até hoje o país é o único onde a construtibilidade foi inserida efetivamente na cultura da indústria. O sucesso dessa iniciativa é atribuído por alguns autores a duas características do método (LAM; WONG; TIONG, 2006; WONG, 2007):

1. Efetividade: pesquisas demonstraram que o BDAS apresentou sucesso imediato, ao aumentar a produtividade do setor e reduzir o trabalho em canteiro;
2. Facilidade: o uso do BDAS não exige da indústria uma mudança em sua estrutura organizacional, em termos de contratos e responsabilidades. Além disso, o método fornece como resultado um valor numérico, que pode ser calculado de forma rápida e comparado objetivamente com padrões estabelecidos pelo governo.

Também é evidente que sem o incentivo e a obrigatoriedade estabelecidos pelo governo, a popularidade e o amplo uso do BDAS no país poderiam ser bem menos expressivos. Até hoje o governo desenvolve e aprimora o método para as necessidades do país, assunto melhor discutido no Capítulo 4. O caso de sucesso de Singapura é também uma das maiores influências ao redor do mundo a novas pesquisas sobre o tema.

3.5 HONG KONG

Hong Kong é o país que mostrou maior interesse acadêmico no tema durante os últimos dez anos. Pesquisadores da Universidade Politécnica de Hong Kong publicaram teses e artigos, nos quais tentaram adaptar e aprimorar o BDAS de Singapura para o contexto de seu país.

Em 2006 foi publicado o primeiro método de avaliação da construtibilidade de Hong-Kong, que recebeu o nome de *Buildability Assessment Model* (BAM) (WONG et al., 2006). Esse método tem uma filosofia quase idêntica ao BDAS, já que os pesquisadores buscavam manter a simplicidade e exatidão encontrados nesse. A grande diferença está na metodologia utilizada para derivar os parâmetros da AdC. Enquanto o BDAS foi construído acima de dados de produtividade, o BAM se baseou em entrevistas e testes feitos com integrantes da indústria do país (WONG, 2007).

Com uma boa receptividade do BAM em Hong Kong, LAM et al. (2012) tiveram a iniciativa criar uma modificação do método, o *Scheme Design Buildability Assessment Model* (SDBAM), com o objetivo de atender especificamente a fase de “projeto esquemático”. Segundo esses autores, o SDBAM visa solucionar o ponto de maior deficiência do BDAS, que só avalia a construtibilidade na finalização do projeto, após o momento em que grandes mudanças podem ocorrer (LAM, 2012).

O último artigo em língua inglesa relativo ao BAM foi publicado em 2012, o que inviabiliza discutir no momento a aceitação do método pela indústria do país. De qualquer maneira, as pesquisas em Hong-Kong se destacam como fortes referências em novas publicações, sendo também utilizadas como base metodológica em diversos artigos.

3.6 DISCUSSÃO

Foi demonstrado nesse capítulo que se estudou e abordou a construtibilidade de formas bastante diferentes, dependendo de fatores como local, época e necessidades da indústria. Enquanto o conceito era recente e pouco estudado, pesquisadores do Reino Unido se dedicaram ao esclarecimento do tema e à divulgação das vantagens de uma maior construtibilidade. Enquanto esse curso mais teórico de pesquisa contribuiu para o desenvolvimento do conceito no cenário internacional, o setor da construção no Reino Unido não percebeu a construtibilidade como algo vantajoso ou de importância.

A indústria do Reino Unido apresenta até hoje sérios problemas de eficiência devidos à baixa construtibilidade, o que permite afirmar que o país é um exemplo de falha no que concerne a exploração do tema. Pode-se supor como razão para isso o foco altamente teórico dado aos estudos e publicações.

A importância central das pesquisas em construtibilidade foi passada aos Estados Unidos e posteriormente também à Austrália. Ao contrário do Reino Unido, esses países tiveram como foco principal a IdC no processo do projeto, trazendo o conhecimento das construtoras para essa fase.

Ambos países contaram com uma grande mobilização ao redor do tema, principalmente durante a década de 90, com uma abordagem direcionada especificamente para suas indústrias e as práticas vigentes nessas. Apesar das similaridades, a literatura aponta para uma maior incorporação do conceito pela indústria americana, dentre as duas.

Modelos contratuais como os de *Construction Management*, foram e continuam sendo bastante usados nos dois países. Esse formato contratual já garante automaticamente uma maior interação entre construtores, projetistas e clientes, implicando em uma maior construtibilidade das obras. No entanto, foi evidenciado que nos Estados Unidos somente os projetistas haviam adotado medidas em relação à construtibilidade, sem grande participação das empresas atuantes na fase de construção.

A maneira que empresas de projeto consideravam a construtibilidade era também diferente e mais simplificada do que as metodologias de IdC propostas pela academia, pois essas geralmente exigiam um grau de interação entre as partes maior do que a indústria estava acostumada a operar. A conclusão é que, mesmo com uma indústria naturalmente propícia a esse tipo de abordagem (IdC), o setor da construção oferece grande resistência a mudanças de processo, principalmente se essas obrigam uma operação diferente dos padrões da indústria.

Como discutido no Capítulo 2, a maioria das publicações brasileiras seguem o modelo de pesquisas dos Estados Unidos e Austrália. Enquanto para estudos de caso em empresas individuais essa é uma abordagem válida, há uma enorme dificuldade de implantar esse tipo de pensamento no setor da construção como um todo. Isso porque a indústria brasileira opera de maneira significativamente mais fragmentada do que a desses países, o que exigiria uma quebra de padrões ainda maior do que o pretendido originalmente pelos processos de IdC.

Acredita-se que tais fatos não tornam inútil para o Brasil a experiência daqueles dois países, ou de publicações brasileiras com esse viés. Não há restrições para que uma construtora nacional, que se responsabilize também pela elaboração de projetos, foque em IdC aos moldes americanos dentro da empresa. Outra lição a ser aprendida com aqueles países é a posição de pioneirismo e liderança adotada por suas associações da construção (CII e CII Australia). Sem elas, a construtibilidade como conceito não teria se difundido e desenvolvido ao mesmo patamar que está atualmente, tanto nos países em questão quanto internacionalmente.

A partir dos anos 2000, a importância central de pesquisas em construtibilidade foi passada à Ásia. Singapura, primeiro com incentivos e depois com legislação relacionada ao BDAS, se consolidou como primeiro e único caso até hoje em que a construtibilidade faz parte integrante das considerações de projeto em escala nacional, colhendo os benefícios resultantes dessa abordagem. Um fator importante a ser observado é que a aceitação do BDAS se deu em boa parte pela sua simplicidade como método. Para seu uso não é preciso alterar os modelos contratuais ou o funcionamento interno das empresas.

Uma crítica válida à abordagem de AdC, feita por alguns autores, é que ela representa uma simplificação muito grosseira da construtibilidade, já que os vários fatores de projeto que a afetam não podem ser considerados através de fórmulas simples. De fato, a abordagem de IdC é mais próxima das ideias originais que moldaram o conceito e, se aplicada corretamente, pode trazer grandes resultados. No entanto, o BDAS mantém sua reputação por ter eficiência comprovada em estudos, mesmo com um uso extremamente simples quando comparado a metodologias como a do CII. Isso justifica a possibilidade de utilizar um método de AdC que seja eficiente e prático para as empresas.

As pesquisas em Hong-Kong expandiram as ideias iniciais do BDAS e deixaram um modelo de pesquisa bastante copiado internacionalmente. Entre seus desenvolvimentos está o SDBAM, um método de AdC voltado para análise prévia da construtibilidade, antes da finalização do projeto.

A partir da análise desse capítulo, esse trabalho define quatro pontos principais para a pesquisa em construtibilidade no Brasil. O propósito desses pontos é servir de recomendação para estudos no tema, com a intenção que, no futuro, a construtibilidade seja reconhecida pela indústria brasileira e adotada onde essa possa trazer vantagens.

a) Foco em Avaliação da Construtibilidade

Foi demonstrado que mesmo onde a indústria é propícia a adotar práticas de IdC, raramente as metodologias são seguidas de forma completa, provavelmente devido à resistência a inovação dentro da indústria. Em contrapartida, métodos de AdC de projetos são uma tendência mais atual de pesquisa, pois podem oferecer uma maneira fácil, eficiente e tecnológica de considerar a construtibilidade em projetos, sem requerer grandes mudanças processuais e contratuais na indústria.

Com um corpo de pesquisas suficiente, seria ainda possível produzir um método de AdC específico para o país, dependendo das realidades e necessidades apresentadas pela indústria.

b) Definir construtibilidade como “*buildability*”

Outro ponto, relacionado também ao anterior, é como definir construtibilidade. Todas as pesquisas brasileiras estudadas definiram construtibilidade com um sentido de “*constructability*”. Para tal definição ter aplicabilidade em grande escala seria necessário ocorrer drásticas mudanças no funcionamento da indústria, de modo que essa operasse prevendo uma relação de *feedback* contínuo entre construtores e projetistas durante o decorrer da obra e sob moldes de engenharia simultânea (BARBOSA; ANDERY, 2015).

A opinião apresentada nesse trabalho é que um conceito como a construtibilidade deve se adaptar à realidade da indústria para ser relevante, e não o oposto. Dessa forma, a definição de construtibilidade como “*buildability*” implica em uma análise restrita ao projeto, mais simples e com maior probabilidade de ser adotada.

c) Parceria com a indústria

O Brasil não tem os problemas de escassez de mão de obra como Singapura, mas vive uma situação mais próxima a do Reino Unido, podendo da mesma forma se beneficiar de uma maior produtividade, qualidade, diminuição de erros na construção e melhoria da relação entre a equipe, consequências de um aumento na construtibilidade. Para que o conceito seja vantajoso à indústria nacional, os estudos em construtibilidade devem ser conduzidos em parceria com empresas, buscando situações em que a construtibilidade traga vantagens a essas.

A elaboração de documentos instrucionais e oferecimento de palestras são outras ações interessantes, com o intuito de difundir o conceito e obter novas informações do setor. Pode-se ainda no futuro criar um banco de dados de construtibilidade, como idealizado pelo CII Australia, em que a informação é realimentada pelas próprias empresas. Nesse banco de dados, o conhecimento sobre o tema poderia ser constantemente renovado e aprimorado.

d) Integração com ferramentas computacionais

O uso de ferramentas computacionais foi um assunto pouco tratado pelas publicações abordadas nesse capítulo. Uma tendência de pesquisa crescente e atual é a automatização da AdC relacionada ao processo BIM, assunto discutido em detalhes no Capítulo 6. Um desenvolvimento nessa área serviria de facilitador para outros avanços no tema.

4 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA CONSTRUTIBILIDADE

Existem vários métodos de AdC, com diferentes focos e perspectivas. Enquanto o BDAS e o BAM, citados no capítulo anterior, são os de maior destaque na academia, houve diversos autores que se propuseram a criar seu próprio modelo de AdC. A maior parte desses esforços ocorreu de forma independente, sem uma relação direta entre eles (ZOLFAGHRAN, 2016).

O desenvolvimento de um método de AdC é um processo complexo, que com base na revisão da literatura foi resumido de forma simplificada nesse trabalho em três etapas:

1) Definição do escopo

Nessa etapa é estabelecida a abrangência e aplicabilidade do sistema a ser desenvolvido. O método pode limitar a análise a alguma parte específica do processo de construção, como o detalhamento das armaduras ou o reuso do madeiramento de fôrmas de concreto, ou pode servir para analisar o projeto como um todo. Também se define nessa fase o momento do projeto em que deve ser feita a avaliação, podendo essa ocorrer desde a concepção inicial até a entrega.

2) Determinação das variáveis

A determinação das variáveis é a etapa em que se atribui mais ou menos importância aos fatores que influenciam a construtibilidade. Como há uma grande quantidade desses fatores, normalmente se faz um processo de eliminação dos menos essenciais para a análise, com os critérios utilizados para essa decisão dependendo do autor. A maioria dos métodos utiliza entrevistas com profissionais da indústria ou simplesmente diretrizes de construtibilidade já estabelecidas em outras publicações.

3) Metodologia de cálculo

A última parte é a definição de uma “metodologia de cálculo”. Essa basicamente estabelece o processo de AdC. Posteriormente nesse capítulo é feita uma breve análise dos principais artigos encontrados sobre o tema. Ao final é escolhido um método como base para demonstrar a AdC e sua possível aplicabilidade no Brasil.

Pode-se dividir os métodos de avaliação em dois grandes grupos segundo seu escopo. Como explicado acima, há os que abrangem toda a edificação e os que focam em um número pequeno de componentes do projeto.

Na primeira categoria, o método de maior destaque é o BDAS (2005), sendo sua metodologia de cálculo a mais influente na academia. Por esse método, o valor da construtibilidade é calculado de forma separada para os “sistemas de parede”, “sistemas estruturais” e “outras características construtivas”. O valor atribuído para cada um é calculado com base nos métodos construtivos utilizados e o percentual de cobertura da área bruta de piso por cada método construtivo.

Outros métodos de AdC relevantes na literatura, como os de Hong-Kong (BAM e SDBAM) (LAM et al., 2012) e outros independentes como Zhang (2016) e Zolfagharian (2016), têm sua estrutura baseada no BDAS de forma bastante evidente.

No BAM, os sistemas construtivos, a serem analisados separadamente, são divididos em 5: estrutura, laje, envelope (paredes externas), telhado e paredes internas. O procedimento de cálculo segue similar ao BDAS. O SDBAM, desenvolvido pelo mesmo conjunto de pesquisadores, se difere dos outros métodos em seu escopo, direcionado às fases iniciais da elaboração do projeto. Mesmo assim, o procedimento de cálculo do SDBAM segue um padrão similar (LAM et al., 2012).

Zolfagharian (2016) desenvolveu seu método com várias similaridades ao BAM, porém adaptado ao contexto dos Estados Unidos e integrado com a tecnologia BIM. Já Zhang et al. (2016) promovem um método similar, com a principal diferença que definiu a construtibilidade como *constructability*. Enquanto outros métodos de AdC são adaptados para uso em conjunto com o BIM, o de Zhang et al. (2016) depende do BIM para ser utilizado. Um outro método mais antigo que se destaca na literatura foi o de Yang et al. (2003). Nele se utiliza um sistema diferente e mais complexo que dos trabalhos anteriores, baseado em Lógica Difusa (*Fuzzy Logic*), na qual os valores de verdadeiro e falso não são binários. Devido à sua complexidade, este não se encaixa na proposta do trabalho.

Dos métodos citados acima, é importante destacar que todos, com exceção do BDAS, derivam os coeficientes atribuídos às suas variáveis de entrevistas com especialistas do setor da construção. Os especialistas são solicitados a atribuírem a importância de variáveis para o cálculo da construtibilidade de acordo sua experiência profissional. Embora o processo seja válido do ponto de vista estatístico, não há evidência de que os “especialistas” sejam capazes de determinar esses parâmetros por meio de entrevistas.

A outra categoria de AdC é a que as análises se limitam a alguns componentes do projeto, detendo o maior volume de publicações no tópico. No entanto, a maioria dessas publicações não alcançou grande relevância na literatura, sendo pouco referenciadas. Dentre esses métodos pode-se destacar dois: (UGWU; ANUMBA; THORPE, 2004; TAURIANEN; PUTTONEN; SAARI, 2015). Ambos os métodos tratam da AdC de estruturas metálicas, em conexão com ferramentas computacionais. O primeiro trata do uso de inteligência artificial no processo de AdC, enquanto o segundo integra seu método de AdC com o BIM.

Para ser utilizado nesse trabalho, foi escolhido um dos sistemas descritos acima, com o intuito de demonstrar o processo de AdC. Foram então elaborados uma série de critérios, considerados pelo autor desse trabalho como os principais para determinar a adequação do método.

- Engloba o projeto por completo

Os métodos específicos a alguns componentes do edifício são interessantes em um contexto de AdC. No entanto, não há uma metodologia que possa integrar vários métodos para a avaliação de um projeto como um todo. Dessa forma, o trabalho se restringiu a aqueles que consideram a construtibilidade de todo o projeto.

- Uso abrangente

O método deve ter uso flexível, para vários tamanhos e usos das construções. Métodos que não tenham essa característica continuam sendo válidos em termos de uso e pesquisa, no entanto, não são adequados para a análise geral desse trabalho. Outro requerimento incluso nesse item é a possibilidade de utilizá-lo fora de seu país de origem.

- Facilidade de uso

Uma característica importante para um método de AdC é que esse possa ser facilmente utilizado, sem demandar um tempo excessivo ou exigir mudanças no processo normal de produção do projeto.

- Resultado determinístico

O método deve fornecer um processo de cálculo determinístico, de forma a não haver dúvidas sobre a validade do resultado.

- Ter sua eficácia demonstrada

É interessante que a eficácia do método em mensurar a construtibilidade tenha sido demonstrada a partir de estudos, garantindo sua relevância.

- Possível de aplicar durante o desenvolvimento do projeto:

Quanto mais avançada está a produção do projeto, menores são as modificações a fazer. É então uma característica desejável que o método possa fornecer informações sobre a construtibilidade antes da finalização do projeto.

A Tabela 1 demonstra essa comparação entre os principais métodos de AdC encontrados na literatura, com base nos critérios discutidos acima.

Tabela 1 - Comparação entre métodos segundo critérios de escolha

Método	Engloba todo o projeto	Uso abrangente	Fácil	Determinístico	Eficácia demonstrada	Aplicável durante o desenvolvimento
BDAS (2005)	✓	✓	✓	✓	✓	
BAM (2006)	✓		✓	✓		
SDBAM (2012)	✓		✓	✓		✓
Zhang (2016)	✓					
Zholfagharian (2016)	✓	✓	✓	✓		
Ugwu (2004)		✓	✓	✓		
Tauriainen (2015)		✓	✓	✓		

Fonte: Autor

Pode-se ver na Tabela 1 que, dos métodos comparados, o BDAS é o que teve mais concordância com os requerimentos. Esse método oferece uma análise geral para o projeto e pode ser utilizado em todos os tipos de edificações urbanas, como o é em Singapura. Ele é também o único método a derivar seus parâmetros de dados internacionais, o que o torna mais adequado ao uso em outros países. O cálculo da construtibilidade pelo BDAS segue um processo fixo, fácil de usar e que fornece um resultado exato. Dos métodos apresentados ele é também o único que teve sua eficácia demonstrada cientificamente, caso discutido a seguir.

O único ponto que o BDAS não foi capaz de cumprir é o de aplicabilidade durante a produção do projeto, já que o método foi desenvolvido para análise de projetos completos. Uma alternativa relevante para atender esse critério é o SDBAM, que faz a análise dessa parte por meio de tabelas, desenvolvidas especificamente para a indústria e condições urbanas de Hong-Kong, focadas na construção de arranha céus. Embora o SDBAM seja um método interessante, as tabelas não foram disponibilizadas pelos autores em sua totalidade, o que inviabiliza seu uso na análise desse capítulo. É disponibilizado no Anexo B parte do SDBAM, como referência de um método com essas características.

4.1 *BUILDABLE DESIGN APPRAISAL SYSTEM (BDAS)*

Nesse subcapítulo é mostrada uma revisão literária do método, contendo pesquisas sobre sua eficácia e instruções de uso.

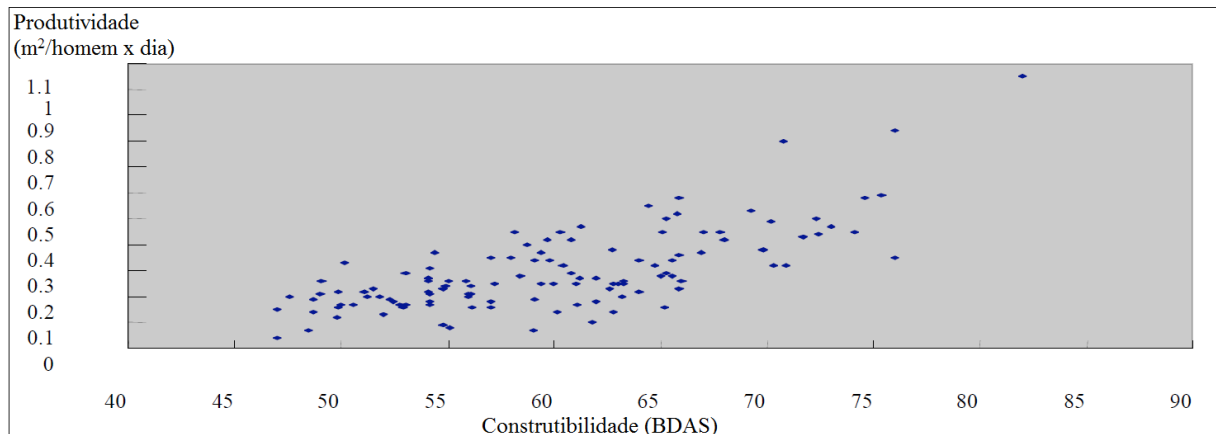
4.1.1 **Eficácia do Método**

Buscava-se em Singapura durante os anos 90 relacionar a construtibilidade com outros parâmetros da construção. Antes do uso do BDAS, os estudos de Lee (1992) e Chan e Er (1994) estabeleceram que um aumento na construtibilidade surtia um grande efeito na produtividade das construções, especialmente para o caso de torres de apartamentos residenciais. A produtividade nessas pesquisas foi mensurada em “metros quadrados por homem-dia”.

Poh e Chen (1998) utilizaram os valores de BDAS de 37 projetos e os compararam com a produtividade e o custo das obras associadas. Os autores concluíram que havia uma correlação significativa entre um aumento da construtibilidade e um menor uso de mão de obra, que por sua vez resulta em mais produtividade ($m^2/\text{homem} \times \text{dia}$). Já a correlação com o custo foi considerada mais fraca.

Outros autores como Ong (1999) e Pheng Low (2001) também encontraram uma correlação significativa entre construtibilidade e produtividade. Abaixo são apresentados os resultados de Ong (1999, apud LAM; WONG; TIONG 2006, p. 6) em um gráfico relacionando produtividade por construtibilidade (Figura 3). Pode-se ver pela nuvem de pontos a correlação entre os dois parâmetros.

Figura 3 – Relação geral entre construtibilidade (BDAS) e produtividade

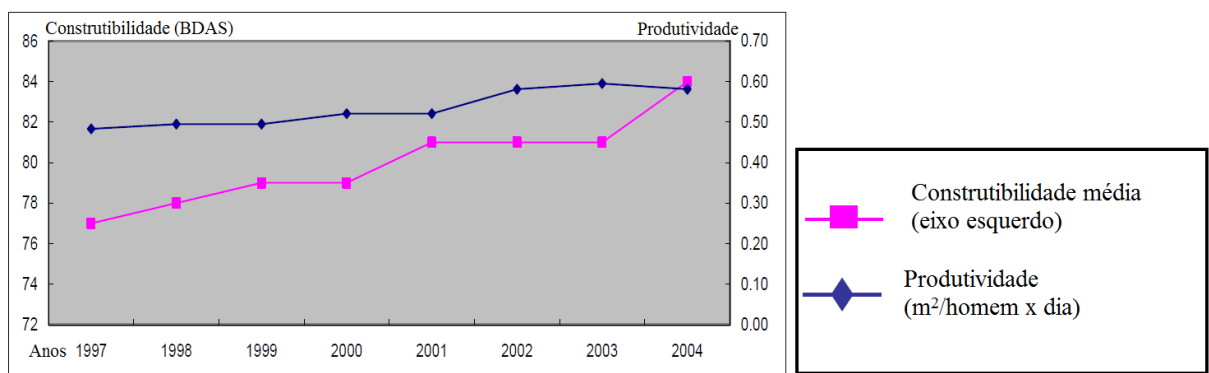


Fonte: Adaptado pelo autor (LAM; WONG; TIONG 2006)

Wong (2007) também apresenta outros gráficos do BDAS (Figura 4 e Figura 5), em que é comparado o valor médio de construtibilidade de Singapura com a produtividade da indústria.

Os gráficos são divididos entre edifícios *landed* e *non-landed*¹, que implicam em diferenças legais na aprovação de projetos no país. É fácil notar por esses gráficos que o aumento gradual da construtibilidade na indústria, calculada pelo BDAS, corresponde diretamente a um aumento da produtividade dessa. Tal tendência fica mais evidente no segundo gráfico, de edifícios *non-landed*, que em geral compreendem edifícios mais altos.

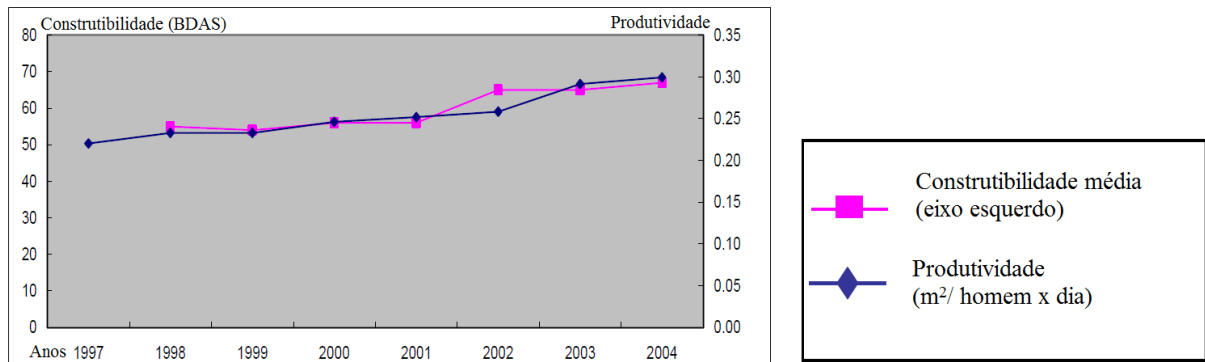
Figura 4 – Construtibilidade e produtividade da indústria, edifícios *landed*



Fonte: Adaptado pelo autor (WONG, 2007)

¹ A diferença entre edifícios *landed* e *non-landed* no contexto de Singapura diz respeito ao direito de propriedade do imóvel. Edifícios que constituem um condomínio, possuídos por diversos proprietários, são chamados de *non-landed*, enquanto aqueles possuídos por um só proprietário são categorizados como *landed*.

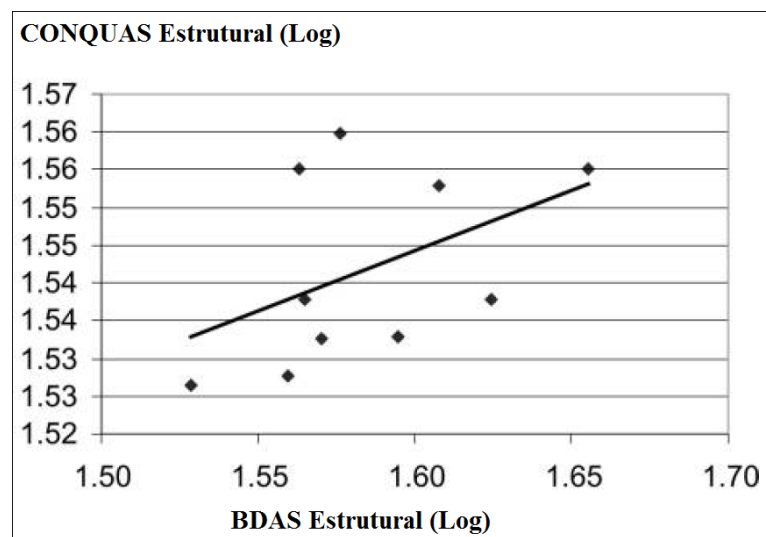
Figura 5 - Construtibilidade e produtividade da indústria, edifícios *non-landed*



Fonte: Adaptado pelo autor (WONG, 2007)

O aumento da qualidade da edificação também é um tópico estudado. Pheng Low (2001) utiliza o *Construction Quality Assessment System* (CONQUAS), um método de avaliação da qualidade em Singapura, para sua comparação. Foi encontrada uma correlação positiva entre o CONQUAS e o BDAS para uma análise específica do sistema estrutural, demonstrada na Figura 6, apesar da baixa linearidade ($r^2 = 0,40$). No entanto, Pheng Low adverte para a influência do uso de elementos pré-fabricados, sendo esses bonificados em ambos os métodos.

Figura 6 - Relação entre qualidade (CONQUAS) e construtibilidade (BDAS)



Fonte: Adaptado pelo autor (PHENG LOW, 2001)

Pode-se concluir que a ligação entre produtividade e o BDAS está bem consolidada através de estudos. Enquanto uma melhora na produtividade é sempre bem-vinda, não há evidências de que o método traga melhorias de custo significativa às obras. Essas são considerações importantes para o contexto brasileiro, onde não há escassez de empregados e o custo da obra é ainda considerado o parâmetro de racionalização mais importante.

O BDAS terá utilidade em projetos brasileiros desde que se busque benefícios além da redução do custo direto, envolvendo uma maior produtividade, qualidade do produto final e redução da mão de obra em canteiro. Esse último benefício pode estar diretamente ligado a redução de atritos e obrigações com os empregados.

4.1.2 BDAS *Code of Practice*

O *Code of Practice* do BDAS (BCA, 2005), traduzido como “Código de Prática”, é um manual de cálculo do *Buildability Score*, ou “Pontuação de Construtibilidade”, obtida pelo método. No referido manual estão contidas definições, regulamentos para aprovação de projetos, instruções e coeficientes de cálculo.

Várias versões do BDAS já foram publicadas, sendo a mais atual de 2017 (BCA, 2017), ficando disponíveis on-line de forma aberta no *website* da *Building and Construction Authority* (BCA) de Singapura. No entanto, aqui será utilizada a versão de 2005 da norma. Há duas razões por trás disso. A principal é devido ao avanço tecnológico muito acelerado da indústria de Singapura durante a última década, o qual foi acompanhado pelo BDAS. Isso resultou em um aumento gradativo, porém elevado do nível de exigência do código. Tais mudanças fizeram com que as normas mais atuais ficassem fora da realidade da indústria brasileira, limitando sua utilidade no país. Já a razão secundária é o fato da norma de 2005 ter sido citada e utilizada por diversas publicações internacionais. Tal característica a confere um maior grau de reputação na literatura.

Antes de aplicar o método, é importante entender os conceitos em que foi baseado e a significância deles. O BDAS define construtibilidade segundo a CIRIA, como “*a magnitude na qual o projeto de um edifício favorece a facilidade de construção*”. Dessa forma, a pontuação do BDAS pode ser entendida como um indicador direto da facilidade de construção. No entanto, o código alerta que um projeto com uma certa pontuação de construtibilidade não será necessariamente mais fácil de ser construído que outro com um valor menor, devido aos vários fatores que estão além do projeto e influenciam esse parâmetro. A comparação de pontuações deve, portanto, se manter restrita ao mesmo projeto.

O método busca aplicar no seu cálculo a consideração dos princípios “3S” de construtibilidade. Padronização (*Standardisation*), Simplicidade (*Simplicity*) e Elementos Integrados Individuais (*Single Integrated Elements*). Citando-se diretamente do código de prática:

Padronização se refere à repetição de *grids*, dimensão de componentes e detalhes de conexão. Simplicidade significa sistemas de construção e detalhes de instalação descomplicados. Elementos Integrados Individuais são aqueles que combinam componentes relacionados junto a um único elemento, o qual pode ser pré-fabricado e instalado no canteiro (BCA, 2005, p. 13).

O valor máximo da pontuação do BDAS é de 100 pontos. Esse valor é distribuído entre os “sistemas estruturais”, “sistemas de parede” e “outras características construtivas”. Cada sistema tem um peso diferente no cálculo da pontuação total, atribuído durante a formulação do método, de forma proporcional a seus consumos de mão de obra.

O procedimento de cálculo do BDAS se concentra em torno dos “*Labour Saving Indices*” (LSI), tradução de Índices de Economia de Mão de obra, os quais, apresentando um maior valor, indicam maior construtibilidade (e menor necessidade de trabalhadores no canteiro). Esses índices foram derivados a partir de um comitê em Singapura, que reuniu dados de produtividade de grandes empreiteiras nacionais e estrangeiras e os relacionou com os sistemas construtivos. Os LSI continuam a ser modificados a cada atualização do código de práticas, devido a novos dados ou novos interesses do governo. (BCA, 2015).

Pode-se dividir o processo de AdC segundo o BDAS em quatro passos, mostrados a seguir.

4.1.2.1 Categorização do edifício

O processo de avaliação se inicia com a categorização da edificação em análise. Faz-se isso a partir do Quadro 1 (*Table A*), que enumera todas as categorias consideradas no código (coluna à esquerda) e lista alguns dos tipos de edificações associadas a essas (coluna à direita). Um exemplo é a categoria comercial (*commercial*) que engloba edificações como bancos, lojas de departamento e restaurantes. As tabelas originais do método se encontram reproduzidas no Anexo C.

Quadro 1 - *Table A*, categorização de edifícios

CATEGORIAS	TIPOS DE DESENVOLVIMENTO
Residencial (<i>landed</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Casa terraço • Casa geminada • Bangalô • <i>Clustered housing</i>
Residencial (<i>non-landed</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Condomínio • <i>Flat</i> • Apartamento de serviço • Apartamento • Dormitório • Albergue
Comercial	<ul style="list-style-type: none"> • Banco • Loja de departamentos • <i>Shopping center</i> • Edifício de escritórios • Supermercado • Restaurante • Hotel • Centro de convenções • Edifício de exposições
Industrial	<ul style="list-style-type: none"> • Fábrica • Depósito • Armazém • Cervejaria • Armazenamento de frios • Planta de processamento e embalagem • Planta de impressão • Sub-estação
Escolar	<ul style="list-style-type: none"> • Escola fundamental • Ensino médio
Institucional e outros	<ul style="list-style-type: none"> • Biblioteca • Hospital • Casa de repouso • Enfermaria • Edifício de pesquisas • Ambiente educacional • Edifício terminal • Campus • Centro médico • Acampamento • Embaixada • Museu • Crematório • Casa de festas • Cinema/Teatro • Esportes e recreação • Estação de transporte público

Fonte: Adaptado pelo autor (BCA, 2005)

A escolha da categoria influencia na pontuação mínima exigida pelo método, sem alterar o procedimento de cálculo ou a pontuação final. Para determinar a pontuação mínima deve-se ter a categoria da edificação e sua área total bruta, ou *gross floor area* (GFA). Para os edifícios novos utiliza-se o Quadro 2 (*Table B*), enquanto o Quadro 3 (*Table C*) é direcionado a reformas.

No caso de um projeto que contém edificações com diferentes categorias, o requerimento mínimo é obtido a partir de uma média ponderada dos mínimos para cada categoria, segundo a GFA das edificações. Edifícios com menos de 2000m² ou de uso especial, como igrejas e parques, não precisam se adequar à norma no país.

Quadro 2 – *Table B*, pontuações mínimas para novas edificações

CATEGORIAS DE DESENVOLVIMENTO	MÍNIMA PONTUAÇÃO DE CONSTRUTIBILIDADE		
	2000 m ² ≤ GFA < 5000 m ²	5000 m ² ≤ GFA < 25000 m ²	GFA ≥ 25000 m ²
Residencial (<i>landed</i>)	57	59	62
Residencial (<i>non-landed</i>)	63	56	68
Comercial	65	72	75
Industrial	67	74	77
Escola	64	69	72
Institucional e outros	60	66	69

Fonte: Adaptado pelo autor (BCA, 2005)

Quadro 3 – *Table C*, pontuações mínimas para reformas

CATEGORIAS DE DESENVOLVIMENTO	MÍNIMA PONTUAÇÃO DE CONSTRUTIBILIDADE
Residencial (<i>landed</i>)	57
Residencial (<i>non-landed</i>)	60
Comercial	62
Industrial	62
Escola	60
Institucional e outros	60

Fonte: Adaptado pelo autor (BCA, 2005)

4.1.2.2 Construtibilidade do Sistema Estrutural

A pontuação desse sistema é determinada pela Equação 1:

$$Pontuação\ Estrutural = 50 \times [\Sigma(As \times Ss)] \quad (1)$$

“As” se refere ao cobrimento percentual de um sistema estrutural em relação a área total da edificação. Já “Ss” é o LSI do sistema estrutural em particular.

Os LSI para a maior parte dos sistemas estruturais são fornecidos no Quadro 4 (*Table 1*). Algumas outras opções são fornecidas em um documento auxiliar, chamado *Guide to BDAS* (Guia ao BDAS) (BCA, 2007), com o Quadro 5 relacionando essas opções aos LSI do Quadro 4. A pontuação máxima a ser obtida nesse sistema é de 50 pontos.

Quadro 4 – Table 1, sistemas estruturais

SISTEMA ESTRUTURAL	DESCRIÇÃO	LSI
Sistema de concreto pré-fabricado	Totalmente pré-fabricado	1.00
	Pilar/parede pré-fabricada com laje plana ou cogumelo	0.95
	Laje e viga pré-fabricadas	0.90
	Viga pré-fabricada e laje/pilar pré-fabricado	0.85
	Pilar/parede pré-fabricado e laje pré-fabricada	0.80
	Somente viga pré-fabricada	0.75
	Somente laje pré-fabricada	0.75
	Somente pilar/parede pré-fabricada	0.75
Sistema de aço estrutural (só aplicável se forem adotados <i>steel decking</i> ou laje pré-fabricada)	Viga e pilar de aço (sem cobrimento de concreto)	0.95
	Viga e pilar de aço (com cobrimento de concreto)	0.85
Sistema moldado <i>in-loco</i>	Laje plana	0.90
	Laje cogumelo	0.85
	Viga unidirecional protendida	0.75
	Viga bidirecional (laje/viga >10)	0.65
	Viga bidirecional (laje/viga ≤10)	0.50
Sistema de cobertura	Telhado metálico integrado em treliça de aço	0.90
	Telhado metálico sobre treliça de madeira/aço	0.85
	Telhado cerâmico sobre viga de aço/concreto pré-fabricado/madeira	0.75
	Telhado metálico sobre viga moldada <i>in-loco</i>	0.60
	Telhado cerâmico sobre viga moldada <i>in-loco</i>	0.55

Fonte: Adaptado pelo autor (BCA, 2005)

Quadro 5 – Tabela de estrutura com índices adicionais

OUTROS LABOUR SAVING INDICES (LSI)		
SISTEMA ESTRUTURAL	SIMILAR A	LSI A SER UTILIZADO
Laje alveolar pré-fabricada	Laje de concreto pré-moldada	Ver Table 1
Laje protendida pré-fabricada	Laje de concreto pré-moldada	Ver Table 1
Laje nervurada (moldada <i>in-loco</i>)	Laje moldada <i>in-loco</i> (laje/viga < 10)	Ver Table 1
Laje nervurada (pré-fabricada)	Laje de concreto pré-moldada	Ver Table 1
Viga/pilar U pré-moldado	Laje de concreto pré-moldada	Ver Table 1
Pilar de aço com preenchimento de concreto	Pilar de aço sem cobrimento de concreto	Ver Table 1
Viga unidirecional	Viga unidirecional protendida	Ver Table 1
Cobertura de vidro	-	1.00

Fonte: Adaptado pelo autor (BCA, 2007)

4.1.2.3 Construtibilidade do Sistema de Paredes

A pontuação atribuída ao sistema de parede é calculada pela Equação 2:

$$\text{Pontuação de Paredes} = 40 \times [\Sigma(Lw \times Sw)] \quad (2)$$

“Lw” se refere o cobrimento percentual de um sistema de parede em relação ao comprimento total das paredes da edificação. “Sw” é o LSI do sistema de parede em particular.

Os LSI dos vários sistemas são fornecidos no Quadro 6 (*Table 2*). O valor máximo a ser obtido pela Equação 2 é de 40 pontos.

Quadro 6 – *Table 2*, sistemas de parede

SISTEMA DE PAREDE	LSI	
Parede cortina/divisória de vidro/divisória seca (drywall)	0.70	1.00
Painel/parede de concreto pré-fabricado	0.80	0.90
Formas de concreto pré-fabricado	0.50	0.75
Parede de concreto armado moldada <i>in-loco</i>	0.50	0.70
Parede de concreto armado moldada <i>in-loco</i> c/ armadura pré-fabricada	0.54	0.74
Alvenaria estrutural (parede interna)	0.40	0.45
Alvenaria estrutural (parede externa)	0.30	
Alvenaria de bloco cerâmico	0.30	

Fonte: Adaptado pelo autor (BCA, 2005)

4.1.2.4 Outras Características Construtivas e pontuação bônus

A pontuação das outras características construtivas é representada por N. O valor de N é calculado a partir da adição simples de pontuações obtidas pelo Quadro 7 (*Table 3*). A pontuação máxima dessa variável é de 10 pontos. Pontuações bônus são concedidas para o uso de elementos integrados individuais, que também estão especificados no Quadro 7.

Quadro 7 – Table 3, outras características construtivas e pontuações bônus

CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS		MÓDULO	UNIDADE DE COBRIMENTO	VALOR N	
				PERCENTUAL DE COBRIMENTO	
				≥65% A < 80%	≥ 80%
1 Padronização					
1.1	Pilares (3 tamanhos mais comuns)	0.5M	núm.		2
1.2	Vigas (3 tamanhos mais comuns)	0.5M	núm.		2
1.3	Largura da folha das portas (3 tamanhos mais comuns)	0.5M	núm.		1
1.4	Janelas (3 tamanhos mais comuns)	1M/1M	núm.		1
2 Grids					
2.1(a)	Repetição de distância entre pisos (mais de 6 pavimentos)	0.5M	núm.	1.5	2
2.1(b)	Repetição de distância entre pisos (até 6 pavimentos)	0.5M	núm.	0.75	1
2.2(a)	Repetição do <i>layout</i> estrutural entre pavimentos (mais de 6 pavimentos)		área	1.5	2
2.2(b)	Repetição do <i>layout</i> estrutural entre pavimentos (até 6 pavimentos)		área	0.75	1
3 Outros					
3.1	Pilares <i>multit-tier</i> pré-fabricados		núm.		2
3.2	Escadas pré-fabricadas/metálicas		núm.		2
3.3	Camaras de relógios de medição		núm.		1.5
3.4	Calha de lixo pré-fabricada		núm.		1.5
3.5	Prumadas elétricas pré-fabricadas		núm.		1
3.6	Laje sem contrapiso		área		1
3.7	Pilares diretamente sobre estacas		núm.		1
3.8	Baldrames acima e/ou integrados com blocos de coroamento		núm.		1
A Componentes Integrados Individuais (Pontuação Bônus)					
A.1	Unidades de banheiro/lavabo pré-fabricados completos com tubulação e fiação		núm.	2	3
A.2	Abrigos pré-fabricados		núm.	2	3

Fonte: Adaptado pelo autor (BCA, 2005)

4.1.2.5 Pontuação final

A pontuação final é calculada a partir da soma simples das outras pontuações. O valor dela deve ser então comparado com o valor mínimo de referência obtido pelo Quadro 2. A fórmula que representa a soma é apresentada abaixo na Equação 3, podendo assumir um valor máximo de 100 pontos:

$$\begin{aligned} & \textit{Pontuação de Construtibilidade} & (3) \\ & = 50 \times [\Sigma(As \times Ss)] + 40 \times [\Sigma(Lw \times Sw)] + N + \textit{Bônus} \end{aligned}$$

4.2 BIM na AdC

Pode-se definir *Building Information Modelling* (BIM) como “uma representação digital de características físicas e funcionais de uma instalação” (NBIMS-US, 2016). Modelos BIM são representados em visualizações 3D, a partir dos quais plantas, seções e vistas podem ser geradas instantaneamente.

A diferença do BIM para uma simples representação tridimensional está no fato dos modelos não conterem somente informações geométricas. Um modelo pode conter atributos descritivos de todos os elementos construtivos, detalhando informações como materiais, fabricante e eficiência térmica desses (COMISKEY; TZORTZOPOULOS; WINNINGTON, 2014).

A “modelagem paramétrica” é outra característica notável no BIM, a qual pode ser entendida como o uso de regras pré-programadas para a composição do modelo. Como resultado dessa lógica interna dos programas BIM, há o aparecimento de relações entre diferentes componentes do modelo. Por exemplo: quando se deleta uma janela, ao invés de permanecer um vazio no espaço previamente ocupado, a parede preenche automaticamente esse espaço, devido à relação paramétrica entre os dois objetos.

Dentre as possibilidades que o BIM oferece está a adição de “dimensões extras” ao projeto. Conhecido na literatura como BIM multidimensional, ou nD BIM, essa filosofia de modelagem considerara os fatores tempo, custo, e ciclo de vida da edificação como dimensões do modelo, representando o 4D, 5D e 6D respectivamente (MCPARTLAND, 2017).

A história dessa tecnologia começa com o seu desenvolvimento puramente conceitual, a partir da década de 60. Durante as décadas de 70 e 80 ocorreu o desenvolvimento de programas comerciais baseados nessas ideias. Vários nomes foram propostos para esse tipo de ferramentas computacionais, até que em 1992, Nederveen e Tolman (1992) utilizaram pela primeira vez o termo *Building Information Modelling*.

O BIM recebeu um grande destaque durante os anos 2000, evoluindo consideravelmente nesse período. A motivação por trás de sua popularidade é o grande corpo de pesquisas demonstrando as vantagens de seu uso. Dentre essas estão uma melhor qualidade do projeto e menor risco de erros (BRYDE; BROQUETAS; VOLM, 2013).

Atualmente, o BIM conta com um grande reconhecimento e adoção pela indústria de alguns países, como Finlândia e Noruega, onde a tecnologia foi implementada com sucesso. Já outros países concentram esforços governamentais para promover um maior uso do BIM e obter os benefícios associados à tecnologia (BIS, 2013).

4.2.1 Literatura sobre BIM e AdC

Relacionar diretamente BIM e construtibilidade é um tema de pesquisa relativamente atual (HIJAZI; ALKASS; ZAYED, 2009). O objetivo de certas publicações foi demonstrar como o próprio uso de um *software* BIM torna automaticamente mais fácil a AdC, seja por auxílio da representação 3D ou pela fácil acessibilidade de informações não-visuais. Alguns artigos bastante referenciados seguem essa linha de publicação, como (HIJAZI; ALKASS; ZAYED, 2009; TAURIANEN; PUTTONEN; SAARI, 2015), ao mesmo tempo que exploram outros aspectos teóricos da AdC. O Apêndice A apresenta um processo em que o BIM pode ser de grande ajuda no processo manual de AdC.

O assunto explorado nesse capítulo vai além da abordagem dessas publicações, buscando especificamente fazer o uso dos dados em sua forma digital, automatizando a AdC através do BIM. Não há muitas publicações com esse foco na literatura, sendo a maioria bastante recente. Destacam-se aqui três obras consideradas de maior relevância ao tema: Zhang et al. (2016), Jiang (2016) e Zolfagharian (2016).

A tese de Jiang (2016) investiga a construtibilidade de formas de concreto armado e a automatização da AdC para esses elementos. O foco da pesquisa, restrito ao sistema de formas, repete o argumento feito por Moore (1996b), de que não é plausível desenvolver um método simples para AdC do edifício como um todo. Segundo Jiang, métodos que seguem o formato do BDAS e BAM não têm a profundidade necessária.

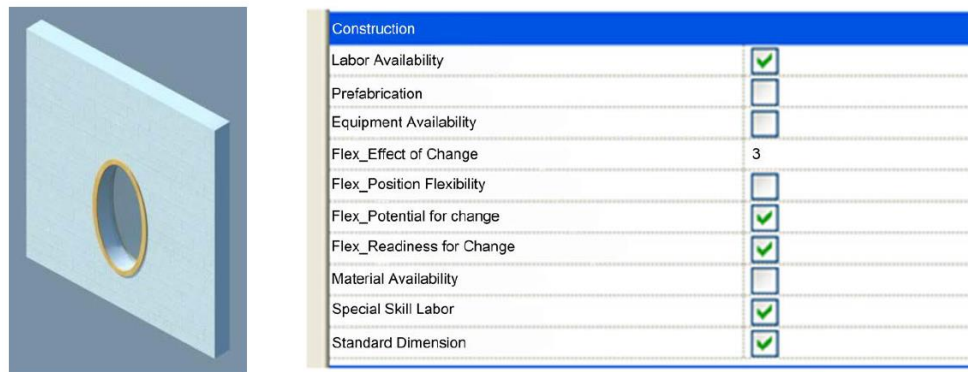
A pesquisa de Jiang aborda principalmente a parte de ontologia da integração do BIM com a AdC. No ramo da computação a ontologia é uma abstração de nomes, atributos e relações entre elementos reais, relacionados ao tema estudado. No caso, a autora estabeleceu uma categorização dos elementos relacionados à concretagem das estruturas e suas inter-relações. Segundo a autora, o processo para obtenção de sua ontologia pode ser adaptado com certa facilidade para a AdC de outros sistemas.

No que concerne a automatização em si, a tese de Jiang (2016) teve pouco aprofundamento. Para ilustrar o processo a autora decidiu utilizar o Solibri, um *software* BIM que verifica se o modelo respeita certas imposições estabelecidas pelo usuário. No entanto, esse programa não tem a capacidade de automatizar a AdC, como reconhecido pela própria autora.

Pela experiência do autor do presente trabalho com esse *software*, o *Solibri* tem grande potencial para auxiliar em um processo manual de AdC. Isso porque ele consegue evidenciar facilmente algumas características do projeto, como restrições dimensionais de elementos do modelo e as interseções entre diferentes sistemas construtivos.

O artigo de Zhang et al. (2016) aborda o tema de AdC segundo o conceito de *constructability*, envolvendo também o projeto completo na análise. Na publicação é desenvolvido um método de AdC, que é depois parcialmente automatizado por um conjunto de *software* BIM. O processo de automatização ocorre primeiramente com a entrada de parâmetros de construtibilidade no modelo, onde os autores inseriram informações não visuais nos elementos a serem verificados, contendo dados relacionadas à AdC. A Figura 7 fornece um exemplo desse procedimento, onde associada à parede com uma janela elíptica são atribuídos valores indicativos da “disponibilidade de mão de obra” e “pré-fabricação” do elemento, os dois primeiros itens da lista, respectivamente.

Figura 7 - Inserção de parâmetros de construtibilidade em uma parede



Fonte: Zhang et al. (2016)

Após essa inserção manual dos parâmetros, foi utilizado um *plugin* para o *Revit*, o *software* utilizado para a modelagem dos projetos. Esse *plugin* fez uma verificação simplificada do percentual em que os itens marcados acima ocorriam e, a partir disso, ofereceu indicativos da construtibilidade do projeto.

Finalmente, a tese de Zolfagharian (2016) tratou da AdC sob uma ótica de exportação de dados necessários para a análise. Como nos outros trabalhos citados, Zolfagharian (2016) se preocupou primeiramente em desenvolver seu método de AdC, seguindo um modelo de cálculo próximo ao BDAS. A tese contrapõe as opiniões como de Jiang (2016) sobre a falta de profundidade desse tipo de abordagem, argumentando que projetos em BIM não têm atualmente o detalhamento necessário para uma AdC focada em pequenos aspectos do projeto, como conexões estruturais. Segundo o referido autor, esse é o primeiro método de AdC desenvolvido para o contexto americano que engloba todo o projeto.

Após isso, Zolfagharian (2016) investiga quais informações dentro do modelo BIM podem ser úteis para uma AdC automatizada a partir de seu método. Essas informações envolvem elementos construtivos, seus atributos e as relações de dados entre diferentes elementos. O formato em que esses dados seriam exportados é o IFC, que será discutido a seguir. Como os outros autores, Zolfagharian (2016) não conseguiu implementar sua estrutura lógica, deixando somente uma base teórica para um futuro processo automatizado.

A análise da literatura evidenciou que o uso do BIM para automatizar a AdC necessita de métodos de avaliação adaptáveis ao processo, além da possibilidade de extração dos dados relevantes a partir do modelo. No Capítulo 6 é proposto um possível uso do BIM para automatização da AdC.

5 AVALIAÇÃO DE PROJETOS

O BDAS é utilizado nesse capítulo para a avaliação de projetos de Santa Catarina, a partir das quais é feita uma análise crítica das utilidades e fraquezas do método para o uso no Brasil. Três projetos foram selecionados para a análise, seguindo a sequência abaixo:

- Um projeto público institucional;
- Um projeto residencial multifamiliar em alvenaria estrutural;
- Um projeto residencial multifamiliar em estrutura de concreto armado.

A Tabela 2 apresenta um resumo de algumas características desses projetos.

Tabela 2 – Tabela resumo com características dos projetos avaliados

	Projeto 1	Projeto 2	Projeto 3
Área construída (m ²)	170.5	1998	4462
Sistema estrutural	Concreto armado	Alvenaria estrutural	Concreto armado
Tipo de projeto/modelo	BIM	CAD	BIM
Sistema de vedação	Blocos cerâmicos	Blocos de concreto	Blocos cerâmicos
Tipo do recurso	Público	Privado	Privado
Núm. de pavimentos	1	4	6

Fonte: Autor, com base nos projetos fornecidos

5.1 PROJETO 1 – CRAS

O primeiro projeto é o Centro de Referência de Assistência Social (CRAS), desenvolvido pelo Laboratório de BIM do Governo do Estado de Santa Catarina (LaBIM-SC). A ideia do CRAS é ser um projeto padrão a ser reproduzido em todo o Estado. Uma visão 3D dele é exibida na Figura 8.

Figura 8 – Visão 3D do projeto 1



Fonte: Autor. Projeto fornecido pelo LaBIM-SC

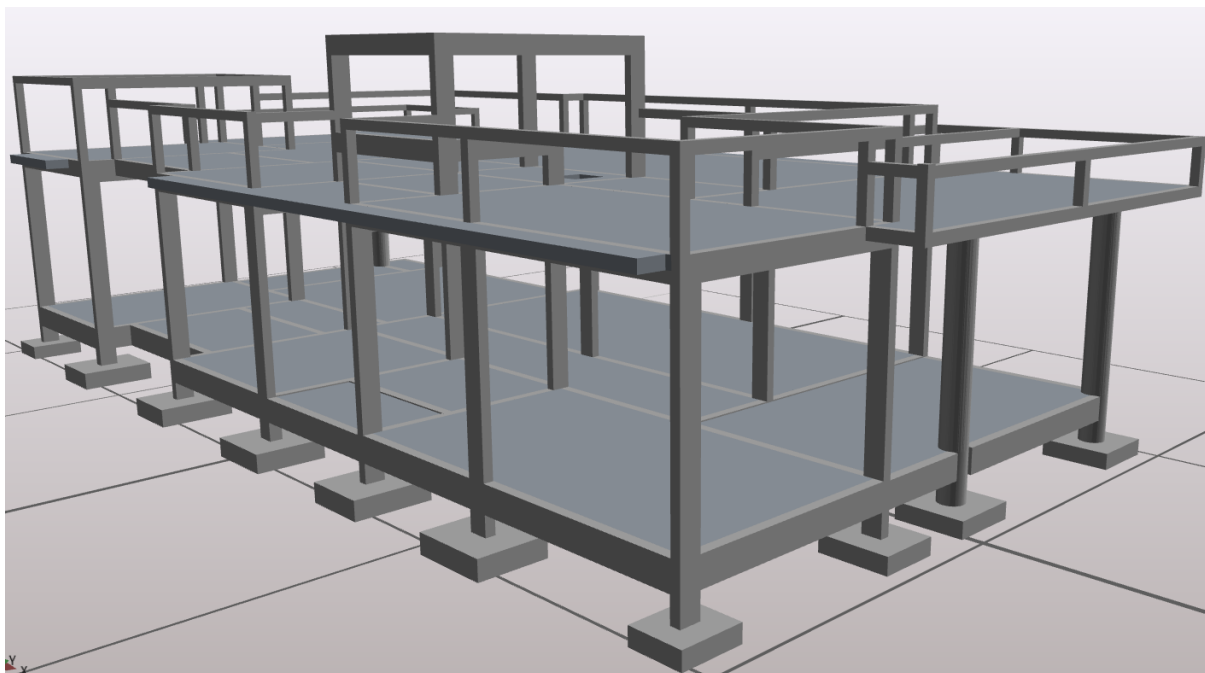
Sua área é menor do que 2000m^2 , o que o tornaria isento de obrigações legais de construtibilidade em Singapura. No entanto, o método pode ser aplicado normalmente a projetos pequenos, seguindo o mesmo processo de cálculo. Devido à função do CRAS, a categoria do edifício segundo o Quadro 1 é “Institucional”, o que o concederia uma pontuação mínima de 60, caso tivesse a área mínima necessária (Quadro 2).

É importante destacar o diferencial de que esse projeto foi feito em BIM, ao contrário da grande maioria das obras públicas, o que por si só já tem alguma influência na construtibilidade que não é apreciada pelo BDAS, assunto discutido no Capítulo 6.

O projeto consiste de um edifício térreo, com uma estrutura de concreto armado moldado *in-loco* e paredes de bloco cerâmico. Com base no Quadro 4, o sistema estrutural do edifício é do tipo “moldado *in-loco*” (*Cast In-situ*). A “descrição” do sistema, segundo o Quadro 4, é a “Viga bidirecional” (*Two-way beam*). Essa descrição indica que as lajes têm vigas bidirecionais, correndo em duas direções perpendiculares, como ocorre usualmente.

A decisão entre um LSI de 0.65 ou 0.50 depende da relação “laje/viga” (*slab/beam*). Se a área de laje em m^2 dividida pela quantidade de vigas no sistema tiver valor maior que 10, escolhe-se o LSI maior, caso contrário o menor. No caso, a relação tem valor menor que 10, recebendo um LSI de 0.50. O lançamento estrutural do CRAS é mostrado na Figura 9.

Figura 9 – Estrutura CRAS



Fonte: Autor. Projeto fornecido pelo LaBIM-SC

No BDAS o telhado também é contabilizado como sistema estrutural, sendo atribuída nesse caso a descrição “Telhado cerâmico sobre viga de madeira” (*Tiled roof on timber beam*), para a cobertura com telhas cerâmicas sobre tesoura de madeira.

Partiu-se então para o cálculo da pontuação estrutural, cujo resumo é mostrado na Tabela 3. A avaliação foi dividida por pavimentos por questão de organização, com o LSI de cada sistema acompanhando sua respectiva descrição.

Tabela 3 – Pontuação de construtibilidade estrutural, projeto 1

Pavimento	Descrição	Descrição BDAS	LSI	Area (m2)	Cobrimento (%)	Pontuação	
Térreo	Laje com vigas bidirecionais (área da laje/número vigas ≤ 10)	Two-directional beam (slab/beam ≤ 10)	0.5	170.5	34%	8.51	
Barrilete	Laje com vigas bidirecionais (área da laje/número vigas ≤ 10)	Two-directional beam (slab/beam ≤ 10)	0.5	170.5	34%	8.51	
Telhado	Telhas cerâmicas sobre estrutura de madeira	Tiled roof on timber beam	0.75	160	32%	11.98	Pontuação/50 (%)
		Total		501	100%	28.99	58%

Fonte: Elaborado pelo autor

Na coluna “Área” da Tabela 3, estão denotadas as áreas ocupadas por cada um dos sistemas estruturais e pelas quais se obtém a área total. Com a área total é possível calcular o cobrimento (*coverage*) de cada sistema e, portanto, seu peso na pontuação final. Essas pontuações foram calculadas seguindo-se a Equação 1.

Para o sistema de paredes o procedimento foi similar (Tabela 4). Como todas as paredes do edifício são de bloco cerâmico, essas receberam um LSI de 0.30 (*Brickwall*) segundo o Quadro 6. A pontuação de construtibilidade foi obtida ao se aplicar a Equação 2.

Tabela 4 - Pontuação de construtibilidade de paredes, projeto 1

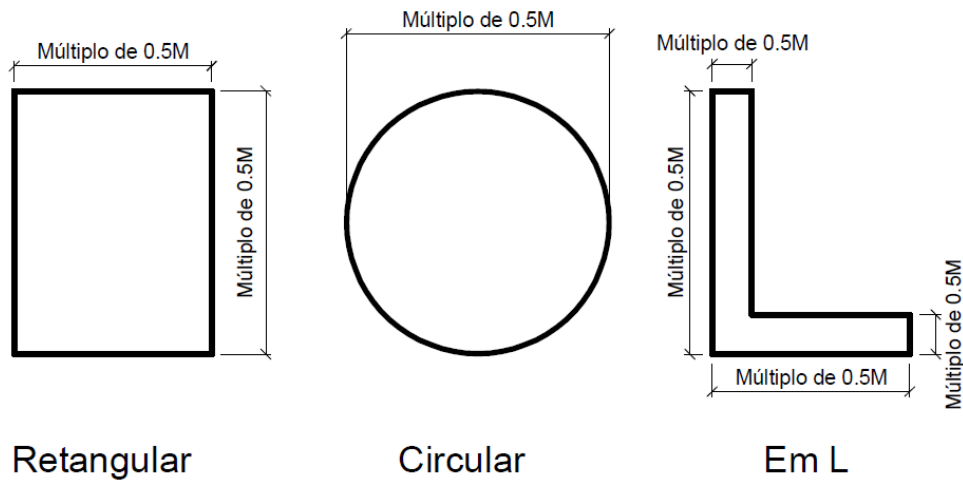
Pavimento	Descrição	Descrição BDAS	LSI	Comprimento (m)	Cobrimento (%)	Pontuação	
Térreo	Alvenaria em bloco cerâmico	Brickwall	0.3	95.1	61%	7.34	
Cobertura	Alvenaria em bloco cerâmico	Brickwall	0.3	60.35	39%	4.66	Pontuação/40 (%)
			Total	155.45	100%	12	30%

Fonte: Elaborado pelo autor

Para “outras características construtivas” (N), não foi concedida nenhuma pontuação. O parâmetro N se baseia em três itens: a padronização de componentes, a repetição de *grids* estruturais e “outros” (*others*).

A padronização, referente ao N, se baseia na repetição de dimensões de pilares, vigas, portas e janelas. É também necessário que essas dimensões sejam múltiplas de um valor determinado no Quadro 7, dados por múltiplos do módulo M, com $1M = 100\text{mm}$. Devido a essa exigência, de haver dimensões múltiplas de M nos elementos, foi considerado não haver padronização suficiente segundo o Quadro 7. O significado do módulo M fica mais evidente na Figura 10, onde as cotas denotam múltiplos de “0.5M” para seções de pilares.

Figura 10 – Seções de pilares com dimensões múltiplas a 0.5M



Fonte: Adaptado pelo autor (BCA, 2007)

A consideração da padronização é demonstrada para a folha das portas (*Door leaf openings*) do projeto 1 na Tabela 5, onde a quantidade de portas com o mesmo tamanho de folha é contabilizada. Selecionando-se as três dimensões mais comuns e múltiplas de 0.5M, é calculada a proporção que esse tipo de porta representa em relação às portas de todo o projeto. Caso a proporção seja maior que 80%, concede-se uma pontuação direta de valor 1, conforme descrito no Quadro 7.

Tabela 5 – Padronização das portas, projeto 1

Portas	
Folha (m)	Quantidade
1.9	1
1.44	2
3.15	1
2.7	1
1.92	1
0.8	9
3.2	1
0.78	2
total	18
total padronizadas	13
Percentual de cobrimento (%)	72%
Mínimo (%)	80%

Fonte: Elaborado pelo autor

A repetição do *grid* diz respeito a dois pontos: a repetição da distância entre pisos e a repetição de pilares em pavimentos consecutivos. Como o edifício é térreo, não foi considerada essa avaliação.

Para receber uma pontuação por “outros”, é necessária a presença de alguns elementos específicos, como escadas metálicas ou fundações estacadas sem blocos de coroamento. No entanto, o projeto não contém nenhuma dessas características. Na seção de pontuações bônus, relacionada a elementos modulares, a pontuação também foi zero (segundo o Quadro 7).

O código de prática do BDAS permite ao projetista não só avaliar a construtibilidade do projeto, mas também ponderar mudanças que afetarão o resultado da análise. Para o CRAS, foram propostas algumas mudanças nos sistemas estrutural e de paredes, com o intuito de melhorar a construtibilidade do projeto de uma maneira compatível com práticas comuns na indústria.

A Tabela 6 e a Tabela 7 demonstram o impacto de duas alterações na estrutura, utilizando-se lajes pré-moldadas e substituindo a cobertura de telhas cerâmicas por metálicas, respectivamente.

Tabela 6 – Construtibilidade estrutural com laje pré-moldada, projeto 1

Pavimento	Descrição	Descrição BDAS	LSI	Area (m2)	Cobrimento (%)	Pontuação	Pontuação/50 (%)
Térreo	Laje pré-moldada	Precast slab only	0.75	170.5	34%	12.76	
Barrilete	Laje pré-moldada	Precast slab only	0.75	170.5	34%	12.76	
Telhado	Telhas cerâmicas sobre estrutura de madeira	Tiled roof on timber beam	0.75	160	32%	11.98	
Total				501	100%	37.50	

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 7 - Construtibilidade estrutural com telhas metálicas, projeto 1

Pavimento	Descrição	Descrição BDAS	LSI	Area (m2)	Cobrimento (%)	Pontuação	Pontuação/50 (%)
Térreo	Laje com vigas bidirecionais (área da laje/número vigas ≤ 10)	Two-directional beam (slab/beam ≤ 10)	0.5	170.5	34%	8.51	
Barrilete	Laje com vigas bidirecionais (área da laje/número vigas ≤ 10)	Two-directional beam (slab/beam ≤ 10)	0.5	170.5	34%	8.51	
Telhado	Telhas metálicas sobre treliça de aço	Metal roof on steel truss	0.85	160	32%	13.57	
Total				501	100%	30.59	

Fonte: Elaborado pelo autor

Lembrando que o valor máximo a ser alcançado pela pontuação estrutural é de 50, com a mudança de laje houve uma significativa melhoria da construtibilidade do projeto. Já uma alteração na cobertura resulta em uma mudança menos expressiva. Aplicando as duas alterações em conjunto (Tabela 8) obteve-se um aumento de 35% na pontuação em relação ao valor original.

Tabela 8 - Construtibilidade estrutural com mudanças combinadas, projeto 1

Pavimento	Descrição	Descrição BDAS	LSI	Area (m2)	Cobrimento (%)	Pontuação	
Térreo	Laje pré-moldada	Precast slab only	0.75	170.5	34%	12.76	
Barrilete	Laje pré-moldada	Precast slab only	0.75	170.5	34%	12.76	
Telhado	Telhas metálicas sobre estrutura de madeira	Tiled roof on timber beam	0.85	160	32%	13.57	Pontuação/50 (%)
Total				501	100%	39.10	78%

Fonte: Elaborado pelo autor

Nos sistemas de parede a única mudança aplicada foi substituir as paredes internas do térreo por divisórias com montagem seca e sem acabamentos em canteiro, como o *drywall*. Tal alteração, mostrada na Tabela 9, resultou em uma mudança significativa na construtibilidade, quase duplicando a pontuação anterior.

Tabela 9 – Construtibilidade de paredes com *drywall*, projeto 1

Pavimento	Descrição	Descrição BDAS	LSI	Comprimento (m)	Cobrimento (%)	Pontuação	
Térreo	Alvenaria em bloco cerâmico	Brickwall	0.3	30.45	20%	2.35	
Térreo	Drywall	Dry partition wall	1	64.65	42%	16.64	
Cobertura	Alvenaria em bloco cerâmico	Brickwall	0.3	60.35	39%	4.66	Pontuação/40 (%)
Total				155.45	100%	23.64	59%

Fonte: Elaborado pelo autor

Ao final computou-se a pontuação de construtibilidade através da Equação 3, com os resultados exibidos na Tabela 10. Observa-se por essa que o projeto original estaria aquém das exigências feitas pelo governo de Singapura, enquanto o projeto alterado foi capaz de cumpri-las. Embora essa comparação não seja suficiente para indicar que as alterações oferecem uma solução de projeto superior, é notável a diferença que mudanças simples podem fazer em relação à construtibilidade. Para o projeto 1, o DBAS se mostrou eficiente em indicar mudanças que melhoram a construtibilidade do projeto.

Tabela 10 – Pontuação de construtibilidade, projeto 1

Total	Pontuação de construtibilidade
Original	40.99
Melhorado	62.74
Pontuação mínima	60

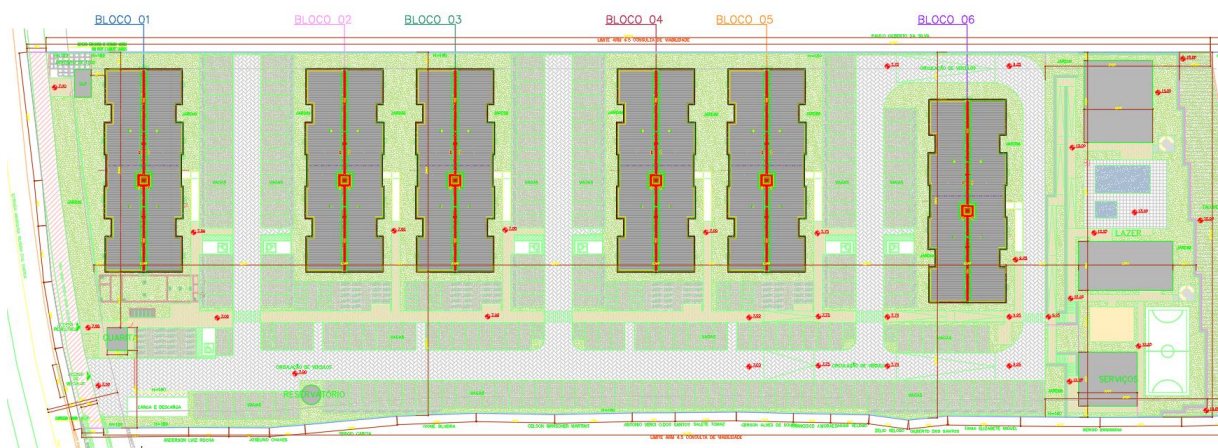
Fonte: Elaborado pelo autor

5.2 PROJETO 2 – EDIFÍCIOS EM ALVENARIA ESTRUTURAL

O segundo projeto é um condomínio de edifícios residenciais de uma construtora privada feitos em alvenaria estrutural, constituindo 6 blocos idênticos com área de 2997m² cada, mais áreas de serviço e lazer (Figura 11). Para projetos com múltiplos edifícios é necessário computar as pontuações separadamente e calcular uma média ponderada dessas a partir da área bruta dos edifícios. No caso, a análise foi resumida somente aos edifícios residenciais, para melhor exemplificação.

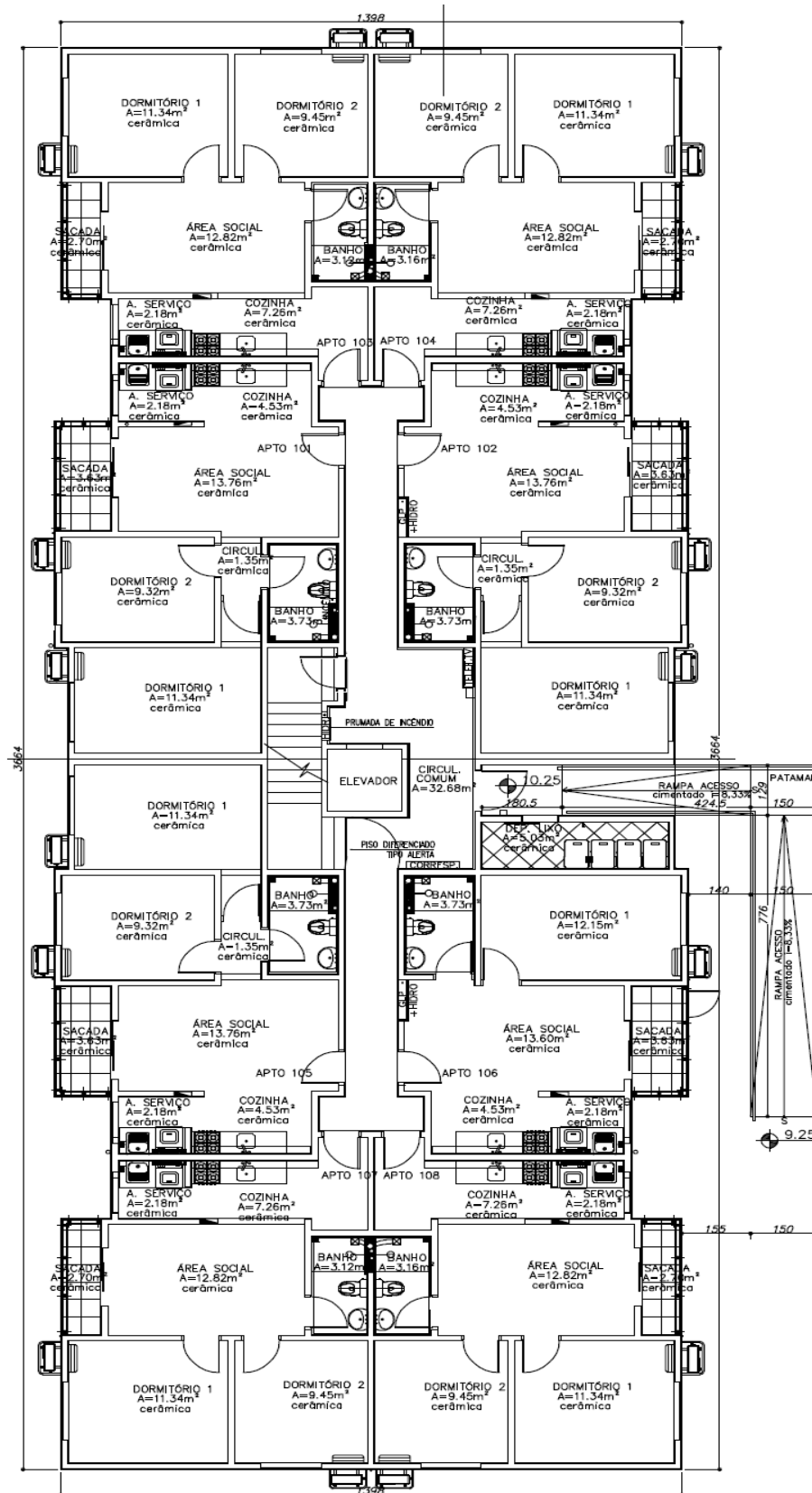
Devido a esses serem idênticos entre si, não houve a necessidade de calcular uma média da pontuação. A Figura 11 mostra um corte do edifício, enquanto a planta do pavimento tipo é exibida na Figura 12.

Figura 11 – Planta de localização do projeto 2



Fonte: Autor. Projeto fornecido por construtora privada

Figura 13 – Planta do pavimento tipo, projeto 2



Fonte: Autor. Projeto fornecido por construtora privada

O procedimento de cálculo foi análogo ao do exemplo anterior, dividindo-se o processo por pavimentos. Foi considerado no projeto o uso de uma solução estrutural em lajes pré-moldadas, que correspondem à descrição de “Somente laje pré-fabricada” (*Precast slab only*), segundo o Quadro 4.

A cobertura é composta de telhas de fibrocimento apoiadas sobre elementos de madeira. Como não há uma especificação para fibrocimento, foi escolhida a opção considerada mais próxima, correspondendo ao “Telhado metálico sobre treliça de madeira” (*Metal roof on timber truss*) do Quadro 4. A Tabela 11 mostra a planilha de cálculo para o sistema estrutural.

Tabela 11 - Pontuação de construtibilidade estrutural, projeto 2

Pavimento	Descrição	Descrição BDAS	LSI	Area (m2)	Cobrimento (%)	Pontuação	
Térreo	Laje pré-moldada	Precast slab only	0.75	499.5	17%	6.25	
Primeiro Andar	Laje pré-moldada	Precast slab only	0.75	499.5	17%	6.25	
Segundo Andar	Laje pré-moldada	Precast slab only	0.75	499.5	17%	6.25	
Terceiro Andar	Laje pré-moldada	Precast slab only	0.75	499.5	17%	6.25	
Quarto Andar	Laje pré-moldada	Precast slab only	0.75	499.5	17%	6.25	
Telhado	Telhas metálicas sobre treliça de madeira	Metal roof on steel/timber truss	0.85	499.5	17%	7.08	Pontuação/50 (%)
			Total	2997	100%	38.33	77%

Fonte: Elaborado pelo autor

A alvenaria estrutural é considerada como um sistema de parede, correspondendo ao *Precision blockwall*. Essa ainda tem as opções de parede interna (*internal wall*) ou parede externa (*external wall*).

Também é necessário fazer a escolha entre as opções de maior ou menor LSI para as paredes internas, com o maior LSI sendo atribuído quando não se usam acabamentos executados em canteiro. Como é de praxe revestir as paredes de blocos de concreto em obra, foi adotado o valor menor de LSI, à esquerda no Quadro 6. A Tabela 12 demonstra o processo de cálculo.

Tabela 12 - Pontuação de construtibilidade de paredes, projeto 2

Pavimento	Descrição	Descrição BDAS	LSI	Comprimento (m)	Cobrimento (%)	Pontuação	
Térreo	Alvenaria estrutural interna	Precision block wall (internal wall)	0.4	296.15	17%	2.72	
Térreo	Alvenaria estrutural externa	Precision block wall (external wall)	0.3	112	6%	0.77	
Primeiro Andar	Alvenaria estrutural interna	Precision block wall (internal wall)	0.4	296.15	17%	2.72	
Primeiro Andar	Alvenaria estrutural externa	Precision block wall (external wall)	0.3	112	6%	0.77	
Segundo Andar	Alvenaria estrutural interna	Precision block wall (internal wall)	0.4	296.15	17%	2.72	
Segundo Andar	Alvenaria estrutural externa	Precision block wall (external wall)	0.3	112	6%	0.77	
Terceiro Andar	Alvenaria estrutural interna	Precision block wall (internal wall)	0.4	296.15	17%	2.72	
Terceiro Andar	Alvenaria estrutural externa	Precision block wall (external wall)	0.3	112	6%	0.77	
Quarto Andar	Alvenaria estrutural externa	Precision block wall (external wall)	0.3	112	6%	0.77	Pontuação/40 (%)
Total				1744.6	100%	14.72	37%

Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se notar na Tabela 12 a baixa construtibilidade obtida pelo serviço de alvenaria estrutural, representando somente 37% da pontuação máxima. Isso é explicável pela alta dependência de mão de obra que tem a tecnologia, indo de encontro ao que busca o BDAS.

Para “N”, pôde-se considerar a repetição de *layout* do pavimento tipo em andares consecutivos, descrito no item 2.2(b) do Quadro 7. Para esse tipo de análise, o primeiro e o último pavimento são desconsiderados, então o percentual da área que tem o *layout* repetido é computado. Nesse caso, em que a repetição é maior de 80%, recebe-se diretamente na pontuação final um valor adicional de 2 pontos, obtidos das considerações na Tabela 13.

Tabela 13 – Pontuação N para repetição de *layouts*, projeto 2

Descrição	Descrição BDAS	Núm. de pavimentos repetidos	Núm. total de pavimentos (sem primeiro e último)	Cobrimento(%)	Pontuação
Repetição do layout do pavimento estrutural	Vertical repetition of structural floor layout	3	3	100%	2

Fonte: Elaborado pelo autor

O valor da pontuação final é obtido novamente pela Equação 3, sendo demonstrado na Tabela 14. O valor mínimo de 63 foi obtido do Quadro 2, para um edifício residencial *non-landed* com 2997 m². Como a pontuação total de construtibilidade (55.09) foi inferior ao mínimo, pode-se dizer que o projeto está aquém das exigências do método.

Tabela 14 – Pontuação de construtibilidade, projeto 2

Totais	Pontuação de construtibilidade	
Sistema Estrutural	38.33	
Sistema de Paredes	14.72	
N	2	Mínimo
Soma	55.05	63

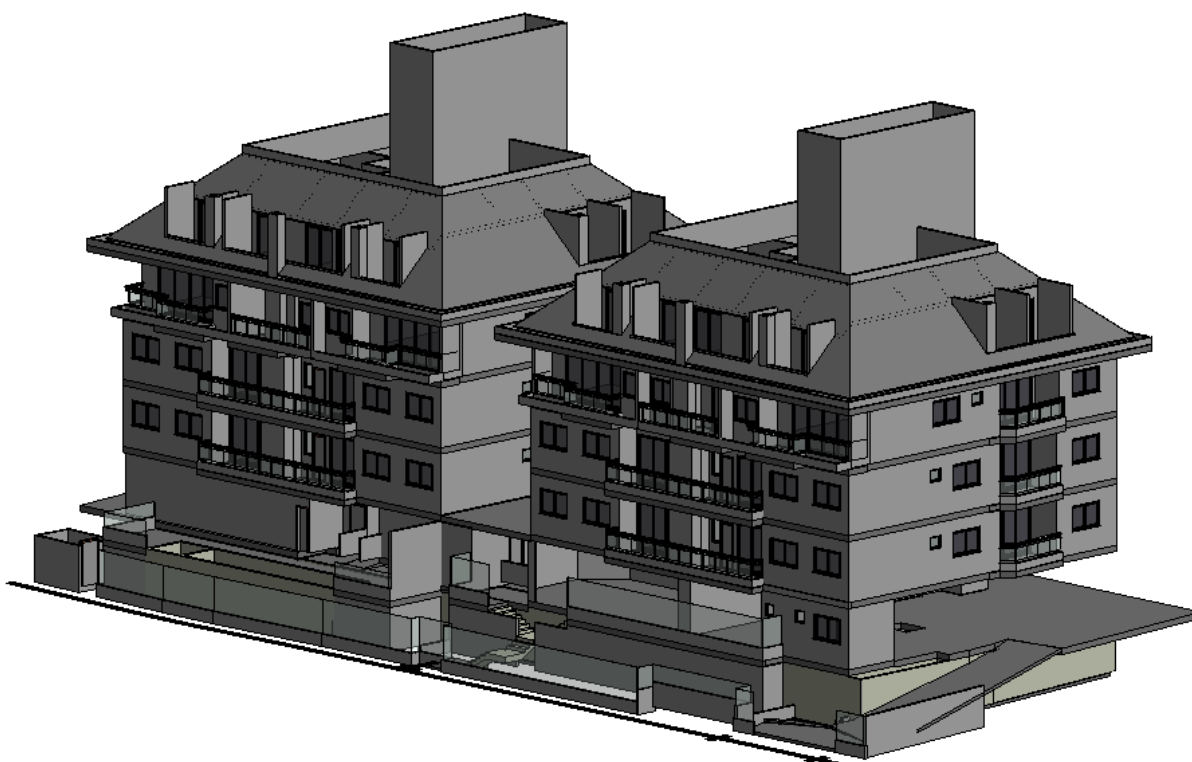
Fonte: Elaborado pelo autor

Para o projeto em questão, o cálculo da construtibilidade pelo BDAS foi bastante direto. No entanto, foi possível evidenciar que o método não foi elaborado para avaliar projetos em alvenaria estrutural como esse. A falta de pilares e vigas nesse tipo de edificação torna a avaliação do sistema estrutural bastante limitada. A avaliação do sistema de paredes também fornece pouca informação, com os LSI variando de 0.30 a 0.45. O fator N é o único que pode ser utilizado satisfatoriamente nesse tipo de construção. No entanto, com um valor máximo de 10 pontos, a influência desse fator é pequena quando comparado aos outros.

5.3 PROJETO 3 – EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM CONCRETO ARMADO

O terceiro projeto analisado é um edifício residencial de um construtor privado com duas torres e 5 pavimentos, incluindo subsolo, somando uma área de 5712m². Uma representação 3D do projeto e uma elevação são exibidas na Figura 14 e Figura 15, respectivamente.

Figura 14 – Visão 3D, projeto 3



Fonte: Autor. Projeto fornecido por empresa privada

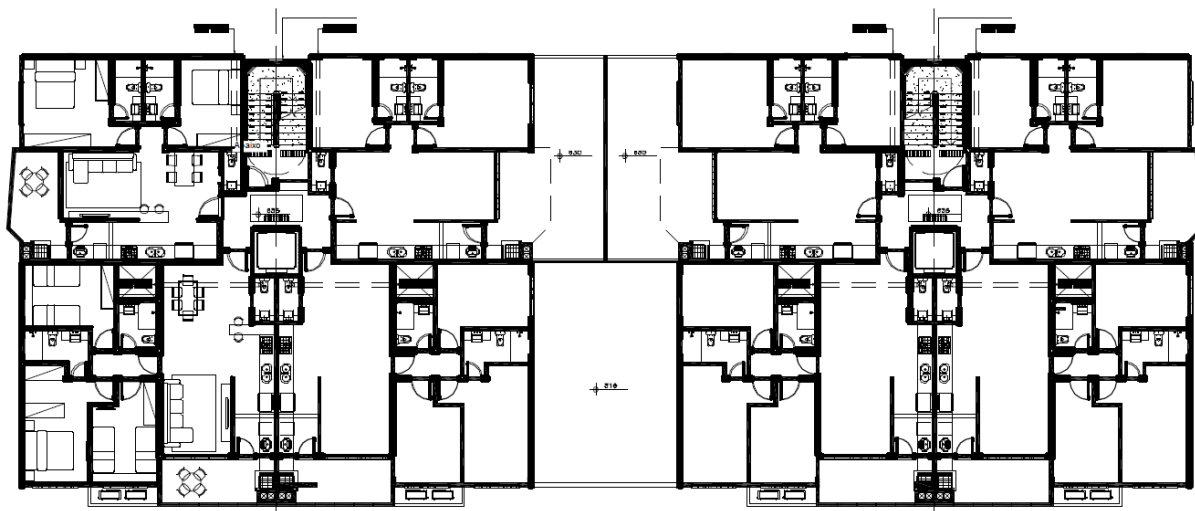
Nesse caso, o procedimento de AdC utilizado foi diferente. Foi possível obter um modelo BIM do projeto arquitetônico, em que havia já uma locação da estrutura. No entanto, os dados de dimensionamento dessa ainda eram limitados. Tal situação, comum no desenvolvimento de projetos, possibilita uma análise da utilidade de um método de AdC, nos moldes do BDAS, para a consideração da construtibilidade em uma fase anterior ao término do projeto. Uma imagem da planta do segundo pavimento é exibida na Figura 16.

Figura 15 – Elevação, projeto 3



Fonte: Autor. Projeto fornecido por empresa privada

Figura 16 – Planta do segundo pavimento, projeto 2



Fonte: Autor. Projeto fornecido por empresa privada

Começou-se a avaliação pelo sistema de paredes. No projeto arquitetônico estas já estavam definidas, sendo possível o calcular a construtibilidade para esse sistema. O valor de comprimento das paredes foi obtido de maneira indireta, através de relatórios gerados pelo próprio *software* BIM utilizado na modelagem do projeto. Parte desse processo é mostrado no Apêndice A. Não se dividiu a avaliação do sistema de paredes por pavimentos, mas sim por tipo de parede, para facilitar o processo.

O sistema de paredes do projeto pôde ser dividido em três tipos diferentes segundo o BDAS:

- Paredes cortina: paredes finas de vidro localizadas em áreas externas ao prédio;
- Paredes de concreto: presentes nas áreas de subsolo, com função estrutural;
- Alvenaria com blocos cerâmicos: todas as paredes internas e externas do edifício sem função estrutural pertencem a esse tipo.

A partir dessa divisão, foi calculada a construtibilidade do sistema de paredes (Tabela 15).

Tabela 15 – Construtibilidade do sistema de paredes, projeto 3

Descrição	Descrição BDAS	LSI	Comprimento (m)	Cobrimento (%)	Pontuação	
Parede cortina (vidro)	Curtain wall	1.00	77.64	2%	0.90	
Parede de concreto moldado <i>in-locu</i>	Cast in-situ RC wall	0.70	235.94	7%	1.92	
Alvenaria em bloco cerâmico	Brickwall	0.30	3131.19	91%	10.91	Pontuação/40 (%)
		Total	3444.77	100%	13.73	34%

Fonte: Elaborado pelo autor

Como opção alternativa para maior construtibilidade, foi simulado o caso em que todas as paredes internas de bloco cerâmico sejam substituídas por paredes *drywall*. Pode-se ver na Tabela 16 que a alteração gerou uma mudança substancial na construtibilidade, com um aumento de 240% do valor original.

Tabela 16 - Construtibilidade do sistema de paredes com *drywall*, projeto 3

Descrição	Descrição BDAS	LSI	Comprimento (m)	Cobrimento (%)	Pontuação	
Parede cortina (vidro)	Curtain wall	1.00	77.64	2%	0.90	
Parede de concreto moldado <i>in-locu</i>	Cast in-situ RC wall	0.50	235.94	7%	1.37	
Drywall	Dry partition wall	1.00	2483.77	72%	28.84	
Alvenaria em bloco cerâmico	Brickwall	0.30	647.42	19%	2.26	Pontuação/40 (%)
		Total	3444.77	100%	33.37	83%

Fonte: Elaborado pelo autor

Para o sistema estrutural foram simuladas duas situações, representando o melhor e pior caso em termos de construtibilidade, dentro do que o autor considera praticável pela indústria:

- Pior caso

Não contém componentes pré-fabricados. As lajes são moldadas *in-loco* e têm alta concentração de vigas bidirecionais, recendo por isso um LSI de 0.50. A rampa que dá acesso ao subsolo pode ser considerada como uma laje de vigas unidirecionais (*One-way beam*), que se encontra descrita no Quadro 5, tendo um LSI de 0.75.

A cobertura adotada foi de telhas cerâmicas sobre treliça de madeira. A AdC para esse caso estrutural é apresentada na Tabela 17.

Tabela 17 – Pior caso de construtibilidade estrutural, projeto 3

Descrição	Descrição BDAS	LSI	Area (m2)	Cobrimento (%)	Pontuação	
Laje com vigas bidirecionais (área da laje/número vigas ≤ 10)	Two-directional beam (slab/beam ≤ 10)	0.5	4398	77%	19.25	
Rampa em concreto armado	One-directional banded beam	0.75	64	1%	0.42	
Cobertura de telha cerâmica sobre estrutura de madeira (tesoura)	Tiled roof on timber beam	0.75	1250.48	22%	8.21	Pontuação/50 (%)
Total			5712.48	100%	27.88	56%

Fonte: Elaborado pelo autor

- Melhor caso

Todos os elementos de concreto armado são pré-fabricados, com um LSI de 1. Já o telhado é metálico sobre uma estrutura treliçada de aço, que recebe um LSI de 0.85. A rampa permanece com a mesma classificação do caso anterior. As alterações são extremamente significativas para a construtibilidade do sistema estrutural, como evidencia a Tabela 18, fazendo a pontuação do sistema estrutural se aproximar da máxima pontuação atingível no sistema: 48.22 pontos de um máximo de 50.

Tabela 18 – Melhor caso de construtibilidade estrutural, projeto 3

Descrição	Descrição BDAS	LSI	Area (m2)	Cobrimento (%)	Pontuação	
Totalmente pré-moldado	Full precast	1	4398	77%	38.49	
Rampa em concreto armado	One-directional banded beam	0.75	64	1%	0.42	
Cobertura metálica	Metal roof on steel truss	0.85	1250.48	22%	9.30	Pontuação/50 (%)
Total			5712.48	100%	48.22	96%

Fonte: Elaborado pelo autor

Também foi obtido para esse trabalho o projeto completo, contendo os dados necessários do projeto estrutural. A configuração dos sistemas estruturais pode ser vista na Tabela 19, em que as lajes são do tipo nervurada e a cobertura de telhas cerâmicas. Segundo o Quadro 5 as lajes nervuradas (*waffle slab*) recebem um LSI equivalente ao sistema de lajes moldadas *in-loco* com alta concentração de vigas bidirecionais. O resultado é uma pontuação de construtibilidade igual ao pior caso avaliado anteriormente.

Tabela 19 – Construtibilidade estrutural real, projeto 3

Descrição	Descrição BDAS	LSI	Area (m2)	Cobrimento (%)	Pontuação	
Laje nervurada	Waffle slab (cast in-situ)	0.5	4398	77%	19.25	
Rampa em concreto armado	One-directional banded beam	0.75	64	1%	0.42	
Cobertura de telha cerâmica sobre estrutura de madeira (tesoura)	Tiled roof on timber beam	0.75	1250.48	22%	8.21	Pontuação/50 (%)
		Total	5712.48	100%	27.88	56%

Fonte: Elaborado pelo autor

Com as informações contidas nas tabelas acima, foi possível determinar o alcance possível da pontuação de construtibilidade, comparando a pontuação mínima exigida com o menor, maior e verdadeiro valor da construtibilidade do projeto. Esses valores são demonstrados na Tabela 20.

Tabela 20 – Valores possíveis de construtibilidade e pontuação mínima exigida, projeto 3

Totais	Pontuação (BDAS)
Menor	41.60
Real	41.60
Maior	81.59
Mínimo	63

Fonte: Elaborado pelo autor

5.4 DISCUSSÃO

A partir da análise dos três projetos, pôde-se ter uma visão geral do funcionamento e das ideias por trás do BDAS, que foi escolhido com a intenção de demonstrar um processo padrão de AdC.

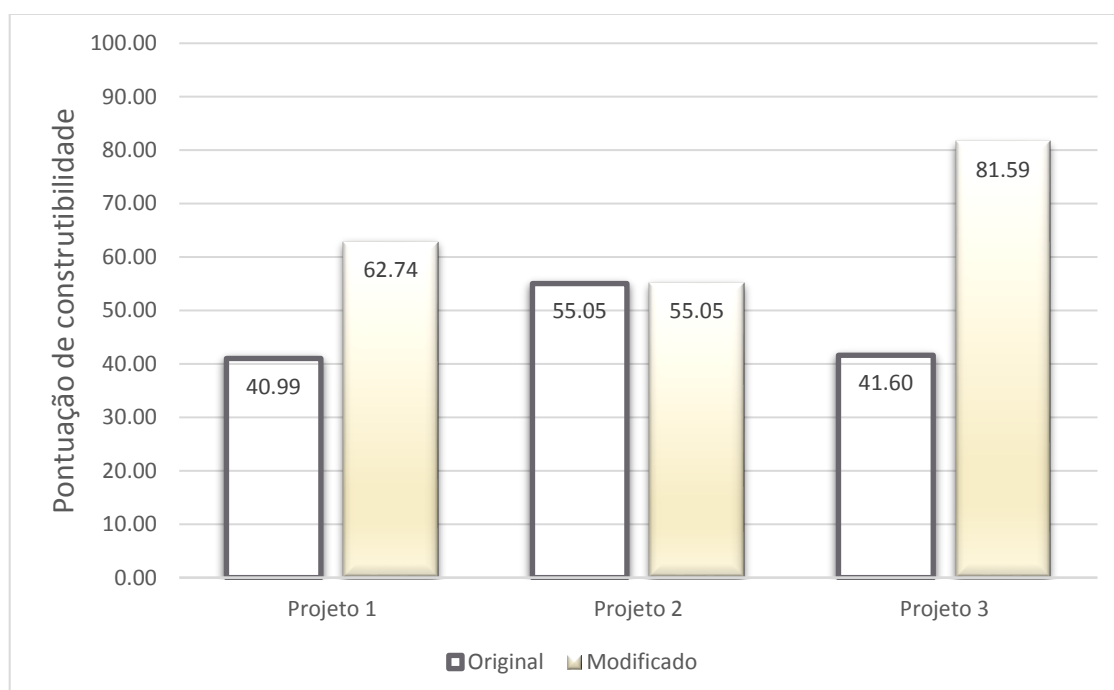
O BDAS teve uma aplicação interessante para os projetos 1 e 3, edifícios em concreto armado. Neles foi possível avaliar a construtibilidade de forma flexível, alterando os métodos construtivos de cada sistema e obtendo como consequência grandes mudanças na pontuação. Isso torna a AdC um processo informativo e vantajoso, indicando claramente o efeito que decisões de projeto têm sobre a construtibilidade.

No projeto 3, devido a sua maior área, pode-se ver como uma alteração plausível das paredes internas do edifício para *drywall* (respeitando-se os requerimentos de desempenho) resultaria em uma construtibilidade significativamente maior. Já no projeto 2, dos edifícios em alvenaria estrutural, o BDAS foi de pouco uso.

A razão principal para a baixa adaptação do método ao projeto 2 é que a tecnologia de alvenaria estrutural vai contra o propósito do BDAS. Enquanto o método tenta reduzir a dependência de mão de obra e facilitar a construção como consequência direta, um edifício com essa tecnologia utiliza uma grande quantidade de trabalho em canteiro dentro de um processo de execução altamente racionalizado e rígido. Em seu código de prática mais atual (BCA, 2017), o BDAS chega a reduzir o LSI de alvenaria estrutural para 0.10.

A Figura 17 exibe uma comparação entre os valores originais (à esquerda) e maiores dos modificados (à direita) de construtibilidade, para cada projeto.

Figura 17 - Valores originais e modificados de construtibilidade por projeto



Fonte: Elaborado pelo autor

Quanto à avaliação de projetos antes de sua finalização, o BDAS mostrou ter certa utilidade, mesmo que originalmente não tenha esse propósito. A separação entre sistemas de parede e estrutura permite que um projeto arquitetônico seja avaliado para esse primeiro sistema, enquanto os pontos devidos à estrutura podem ser estimados, embora de forma bastante ampla.

Em suma, o BDAS se mostrou apto ao uso para os tipos de projetos estudados, estes comuns ao contexto brasileiro, com um processo de uso fácil e direto. No entanto, é possível que ele necessite de algumas adaptações para ser utilizado sem restrições no país,

principalmente em relação aos valores dos LSI, que idealmente teriam sido derivados de dados nacionais.

São três as principais limitações do BDAS encontradas por esse trabalho:

- Limitado à superestrutura

Praticamente não há menção a escolhas que afetam a fundação e a terraplenagem;

- Focado em processos construtivos

O método atribui pouco peso e detalhamento para fatores dimensionais. A repetição de *layouts*, as dimensões dos componentes estruturais e outros fatores geométricos acrescentam pouco valor à pontuação total de construtibilidade;

- Sigilo na elaboração

Não é possível saber quais foram os dados usados como base para a derivação do método, ou a razão da escolha dos fatores a serem analisados, como o módulo M, por exemplo. Apesar de sua eficácia estar comprovada independentemente disso, o desconhecimento da lógica de obtenção dos LSI limita a interpretação dos valores obtidos.

Códigos mais atuais continuam sem considerar esses fatores. A principal mudança vista nesses códigos é um detalhamento maior dentro dos sistemas, incluindo também fatores como o tipo de concreto e a presença de aberturas para esquadrias nas paredes (BCA,2017).

Na visão do autor, para que um projeto se beneficie do uso do BDAS, é necessário que se tenha um sólido interesse sobre as vantagens resultantes do aumento da construtibilidade, mesmo que a despeito de outros fatores importantes. Ou então que o tipo de construção se encaixe bem com o propósito do BDAS, e as sugestões dadas pelo método coincidam com decisões que ocorreriam naturalmente nesse setor.

A ideia oposta pode ser utilizada para avaliar que tipo de projeto obteria pouco benefício se submetido ao método: projetos em que o custo é o fator mais importante para garantir a competitividade das empresas, ou também projetos cuja construtibilidade só pode ser melhorada de maneiras não consideradas pelo método.

Baseado nessa lógica, o Quadro 8 fornece exemplos de tipos de projeto em que o uso do BDAS teria um maior e menor efeito positivo.

Quadro 8 – Projetos que obteriam muito ou pouco benefício ao usar o BDAS

Grande benefício do BDAS	Pouco benefício do BDAS
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Shopping centers</i> • Hotéis • Edifícios de escritório • Torres residenciais • Obras públicas em geral 	<ul style="list-style-type: none"> • Condomínios horizontais • Edifícios residenciais de baixa renda

Fonte: Elaborado pelo autor

Shopping centers e hotéis são tipos de obra que se beneficiam de uma rápida execução, com alta qualidade e com o menor número possível de problemas durante a construção, conceitos bastante próximos à construtibilidade. Edifícios de escritório têm uma grande flexibilidade quanto à escolha de tecnologias construtivas e, portanto, um maior potencial para se beneficiar de decisões voltadas à construtibilidade. Apesar de edifícios residenciais serem geralmente menos flexíveis do que os de escritório nesse quesito, grandes prédios têm associados a si próprios efeitos de escala, dentre os quais a construtibilidade também está inclusa e pode se fazer bastante notável durante a construção, com simples mudanças no pavimento tipo.

O caso de obras públicas é uma questão separada. Dado o grande volume de problemas associados à qualidade e ao prazo de entrega dessas obras, poderia ser benéfico estipular em licitações requerimentos mínimos de construtibilidade. Essa ideia não é nova, sendo proposta no *Banwell Report* (1964) e executada pelo governo de Singapura desde 1993.

A construção de condomínios horizontais é um tipo de projeto que receberia poucos benefícios do BDAS. A razão para isso é que o método não é capaz de contabilizar a influência da padronização (*standardisation*) horizontal, com a repetição dos pavimentos em cada unidade do condomínio. Na construção de edifícios residenciais de baixa renda, o custo é um parâmetro muito predominante para a obra, com fatores relacionados à construtibilidade ficando em segundo plano. No entanto, o método pode ser utilizado por qualquer tipo de obra da construção civil, mesmo que só com um papel consultivo.

6 BIM E CONSTRUTIBILIDADE

Há nesse momento uma grande diversidade de *software* associados ao BIM. Esses compreendem funções como modelagem, coordenação e revisão de projetos, oferecendo uma gama de possibilidades de pesquisa no tema. O foco desse capítulo, no entanto, será bem específico, explorando o uso do BIM na automatização da AdC.

A ideia utilizar BIM para resolver questões associadas à construtibilidade não é nova. Nota-se na literatura que esse interesse se deu principalmente por duas características da modelagem BIM:

- Quantidade de informação

Um modelo com alto nível de detalhamento contém uma grande quantidade de informação sobre componentes e processos de construção, as quais podem ter relação direta com construtibilidade. Pode-se ainda adicionar ao modelo informações ligadas especificamente à construtibilidade, como será visto a seguir.

- Reduz a fragmentação na construção

Fragmentação nesse caso tem o sentido específico já explicado em capítulos anteriores. É da visão de vários autores e instituições governamentais que com o uso do BIM pode ser obtida uma maior integração entre as partes envolvidas na construção, tanto do projeto quanto da execução.

Governos como o do Reino Unido consideram que “somente com a implementação do BIM será possível entregar edifícios de forma mais sustentável, rápida e eficiente” (BIS, 2013, p. 9). Enquanto essa visão não é partilhada por todos (DAINTY et al., 2015), ela serve de evidência da importância atribuída ao BIM atualmente.

6.1 AdC SOBRE O FORMATO IFC

Não foi encontrada na literatura nenhuma obra que demonstrasse, de forma prática, como extrair e utilizar as informações relevantes do modelo de forma automatizada para o contexto de AdC. Assim, será demonstrada aqui uma solução possível para essa questão.

Interpreta-se nesse trabalho que existem três maneiras de utilizar o BIM para facilitar a AdC. O primeiro e mais básico é pelo uso do próprio *software* de modelagem, que pode fornecer visualmente boa parte da informação necessária com alguns *inputs* do usuário.

Uma segunda forma, um pouco mais eficiente, é a utilizada por Jiang (2016). Nessa, programas como o *Solibri* são utilizados para efetuar cálculos ou acusar condições com alguma automatização, o que pode ser de boa ajuda para o processo de AdC.

A terceira forma é o uso de rotinas computacionais para o cálculo da construtibilidade. Essa forma é a mais rápida e eficiente, permitindo uma consideração quase instantânea da construtibilidade de um modelo, podendo ser utilizada por projetistas em um processo sistemático de AdC.

Há também duas maneiras de desenvolver essas rotinas. A primeira é pelo uso de programação *in-house*, significando que a rotina é feita especificamente para os programas de uma determinada empresa. A outra forma é pelo uso de códigos de programação que acessam diretamente os arquivos dos modelos e operam sobre os dados brutos, de forma independente do programa original em que o projeto foi modelado. Essa segunda opção é considerada neste trabalho como a mais recomendável para pesquisas em construtibilidade, por trabalhar a questão de forma independente das empresas de *software* e suas limitações.

Dentre as opções atuais, o *Industry Foundation Classes* (IFC) é o melhor formato de arquivo para cumprir esse propósito. Criado pela buildingSMART, uma organização sem fins lucrativos que promove a padronização mundial de processos BIM, o IFC é um padrão aberto de arquivo para modelos BIM, com o propósito de ser utilizado durante todo o ciclo-de-vida do projeto. Devido ao grande reconhecimento do trabalho da buildingSMART, a grande maioria dos *softwares* BIM já trabalham com o padrão IFC, seja de forma secundária ou principal.

Buscou-se primeiramente um conhecimento teórico da estrutura interna do IFC, por meio do qual foi desenvolvido uma estrutura lógica para a automatização da AdC com base no BDAS. Apesar de existirem vários métodos de AdC, cada um com suas particularidades, a lógica apresentada aqui pode ser facilmente adaptada para a grande maioria desses.

6.1.1 Base Teórica

Seguindo o método BDAS, conforme apresentado no Capítulo 4 desse trabalho, a lógica de programação foi dividida nos três sistemas construtivos, a serem calculados separadamente: sistema estrutural, sistema de paredes e outras características construtivas.

Primeiro é apresentada uma breve teoria da lógica IFC, que será então usada em uma análise específica ao BDAS. Para uma informação mais completa, pode-se pesquisar na documentação oficial do padrão, no *website* da buildingSMART.

O formato IFC tem o propósito de armazenar todas as informações necessárias de um projeto em BIM. Isso inclui dados como: autoria do projeto, fase do projeto e uso dos ambientes após a entrega da obra, não estando só restrito à construção civil, mas englobando também a construção de estradas e obras de arte, por exemplo.

O IFC cumpre todas essas funções a partir de um esquema lógico relativamente complexo, baseado na linguagem de programação EXPRESS, e na teoria de programação orientada a objetos (*object-oriented programming*). Para esse trabalho, com a finalidade de apresentar os conceitos de forma didática, a estrutura do IFC foi dividida em 4 tipos de dados:

1. Elementos construtivos

No IFC, todas as informações são consideradas “elementos” (*elements*), correspondentes aos “objetos” da teoria de programação orientada a objetos. No entanto, nesse item, “elementos construtivos” se referem especificamente às entidades geométricas de uma construção. A maioria desses elementos tratam de entidades materiais, como portas, janelas, lajes e paredes. Porém, há também elementos não materiais e geométricos que se enquadram nessa categoria, como “espaços” e “vazios”.

Todos os tipos de elementos construtivos dentro da linguagem IFC seguem um padrão de nomenclatura com o formato “Ifcx”, com “x” representando na maioria das vezes o nome usual do objeto em consideração. Com essa lógica, à uma parede é atribuída o tipo IfcWall, e à uma laje o tipo IfcSlab, traduções literais dos termos em português. No Apêndice B é exibido um trecho de um arquivo IFC em formato de texto, onde pode-se ver esse padrão de nomenclatura.

Dentro dos “elementos construtivos”, há poucas informações relevantes, não indo muito além do nome e identificações desses objetos. O principal dado contido nesses elementos são suas relações com outros objetos.

2. Objetos de relação

Cabe a esse tipo de objeto estabelecer relações entre os outros objetos do código. Uma parede, por exemplo, não tem associado diretamente a ela informações sobre os materiais de que é composta, ou como é sua representação geométrica. Essa associação é feita por um objeto de relação, cuja única função é essa. Dentro do código esses podem ser reconhecidos pela sua nomenclatura, começando com “IfcRel”. Um exemplo é o IfcRelDefinesByType, que define a relação entre um elemento e um “tipo” atribuído a ele.

3. Propriedades

São os objetos que armazenam as informações de propriedades dos elementos construtivos. Nesse caso, o sentido de “propriedades” é amplo, compreendendo materiais, geometria, parâmetros térmicos, dentre outros. Um exemplo de objeto nessa categoria é o *IfcElementQuantity*, que tem o papel de armazenar dados geométricos sobre outros elementos.

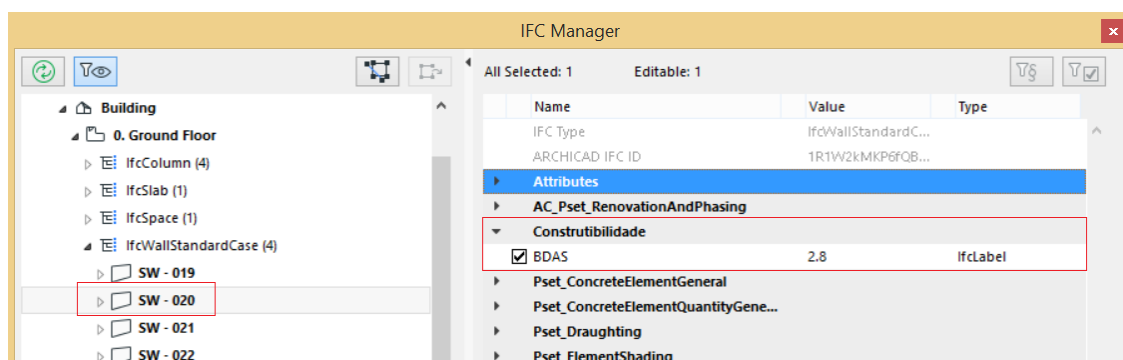
4. Coordenadas cartesianas:

No IFC, as coordenadas cartesianas são tratadas de forma diferente das outras categorias citadas. Sem adentrar nas razões para isso, pode-se dizer que elas se situam em um nível mais básico do código.

6.1.2 Sistema de Paredes

A metodologia proposta para esse sistema foi a adição de propriedades ao IFC, em um procedimento análogo ao de Zhang et al. (2016). Enquanto o formato IFC já tem uma quantidade razoável de informações disponíveis nele, é possível inserir informações customizadas no modelo, que também farão parte do arquivo IFC. Foi adicionado a todos os elementos construtivos de um modelo teste, incluindo às paredes, o conjunto de propriedades (*property set*) “Construtibilidade”, com a propriedade (*property*) “BDAS”. Esse procedimento permite associar dados do BDAS com todas as instâncias de um determinado tipo de parede, criando um padrão que pode ser reutilizado para qualquer projeto subsequente. Nesse caso, foi atribuído às paredes de bloco cerâmico o parâmetro “2.8”, como referência à *Table 2*/item 8 (Quadro 6) do código de prática do BDAS. A Figura 18 mostra esse parâmetro (retângulo de destaque à direita) e a parede a que está associado (retângulo à esquerda).

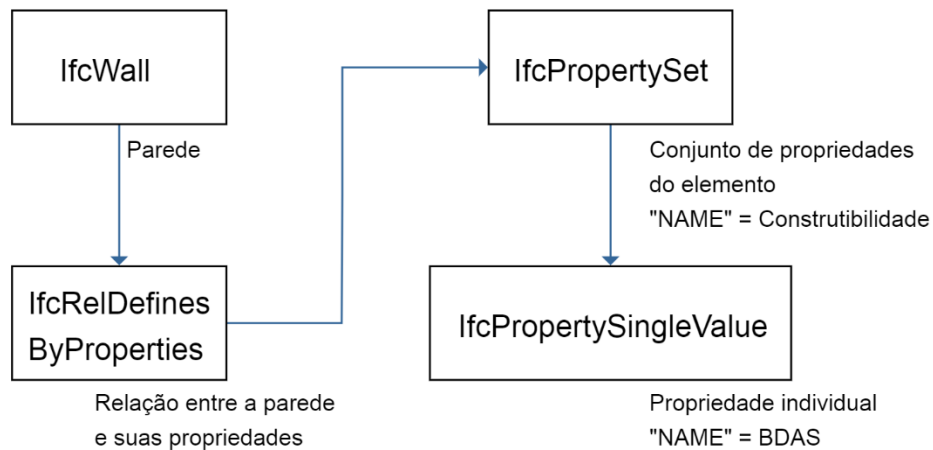
Figura 18 – Inserção do parâmetro de construtibilidade no modelo



Fonte: Elaborado pelo autor

A relação lógica entre as paredes e essa propriedade no IFC é demonstrada na Figura 19, onde na estrutura de dados parte-se de IfcWall, chegando no objeto IfcPropertySingleValue, com o campo *Name* igual a “BDAS”.

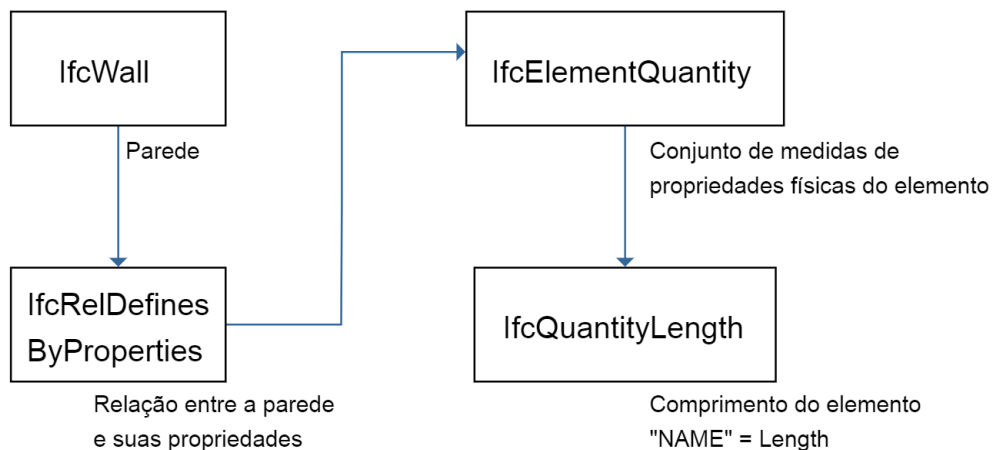
Figura 19 – Obtenção de parâmetro “BDAS” de construtibilidade em paredes



Fonte: Autor, baseado na teoria desse capítulo

Também necessária para o cálculo da construtibilidade segundo o BDAS, a estrutura lógica para obter o comprimento das paredes é apresentada na Figura 20.

Figura 20 – Obtenção do comprimento das paredes



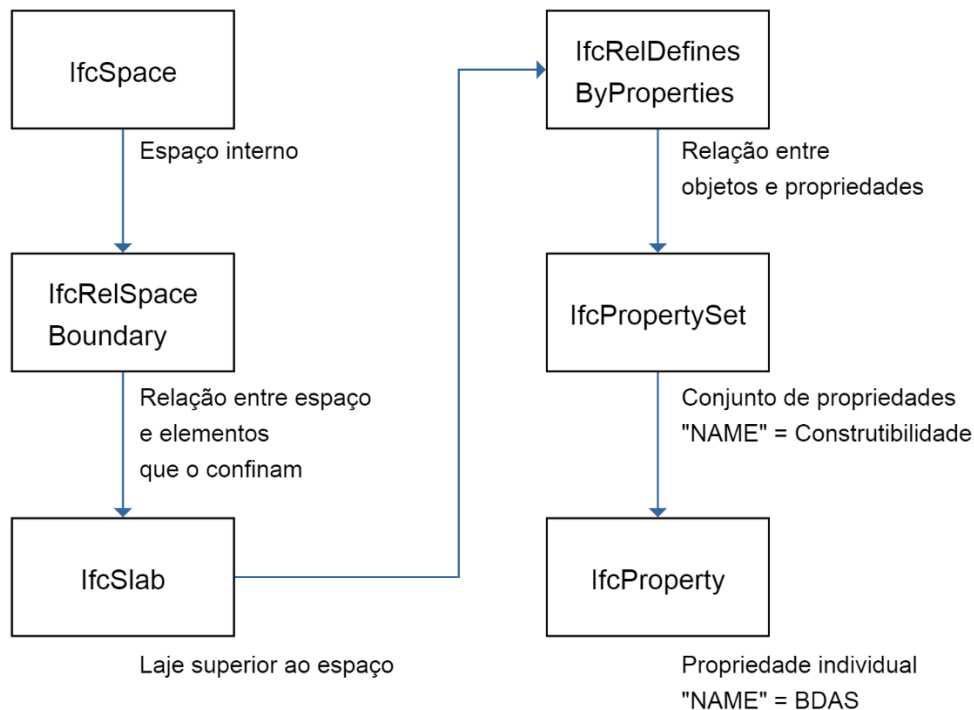
Fonte: Autor, baseado na teoria desse capítulo

6.1.3 Sistema Estrutural

No sistema estrutural a metodologia utilizada foi a mesma, associando um código identificador do BDAS a objetos estruturais no modelo. No entanto, a lógica para se encontrar esses valores no IFC é diferente. Ao invés de partir dos elementos estruturais em si, se utiliza o elemento “espaço” (IfcSpace), que preenche o espaço interno de cômodos nos modelos. A razão para isso é que pode-se utilizar a propriedade de área associada ao objeto IfcSpace, relacionando esse dado com os elementos estruturais que envolvem esse espaço. Assim é possível calcular o cobrimento percentual dos sistemas estruturais segundo o BDAS.

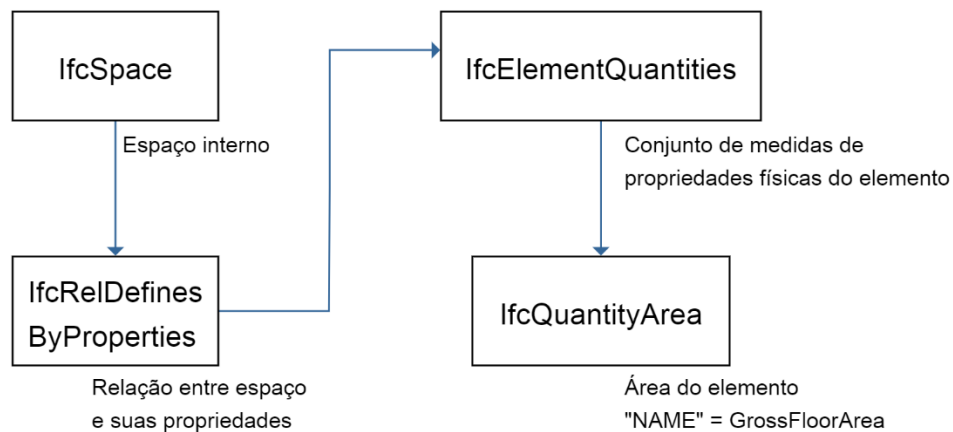
Como o espaço não compreende as áreas do pavimento abaixo das paredes, esse representa um procedimento aproximado. No entanto, esse método para área líquida foi considerado próximo o bastante do procedimento original, que computava a área bruta. A lógica para obtenção da propriedade “BDAS” de uma laje é demonstrada na Figura 21, enquanto a área de planta do sistema estrutural pode ser obtida pelo procedimento da Figura 22. Essas duas estruturas de dados demonstradas para a laje podem também ser usadas de forma análoga para vigas (IfcBeam) e pilares (IfcColumn).

Figura 21 - Obtenção de parâmetro “BDAS” de construtibilidade em lajes



Fonte: Autor, baseado na teoria desse capítulo

Figura 22 - Obtenção da área dos espaços



Fonte: Autor, baseado na teoria desse capítulo

6.1.4 Outras Características Construtivas

Para esse sistema as relações são mais simples. Nas portas e janelas (IfcDoor e IfcWindow), as propriedades de altura e largura (*Overall Height* e *Overall Width*), já estão presentes nos próprios elementos. Nas vigas e pilares (IfcBeam e IfcColumn), o procedimento para obtenção dessas dimensões é análogo ao mostrado na Figura 22. A distância entre pisos pode ser calculada diretamente a partir da propriedade “elevação” (*elevation*) de cada pavimento (IfcBuildingStorey).

Para a repetição de *grids* entre os pavimentos, as relações não são diretas como as apresentadas acima, dependendo principalmente de rotinas de programação envolvendo operações geométricas complexas.

6.1.5 Código

A partir das estruturas de dados apresentadas é possível programar o processo de AdC. Para isso foi utilizado o *Extensible BIM (xBIM)*, uma ferramenta aberta de desenvolvimento de *software* sobre modelos BIM, criada na *Northumbria University*. O *xBIM* funciona como um *plugin* para o *Visual Studio*, uma plataforma de programação da Microsoft, pelo qual é possível de forma facilitada abrir, extrair informações e modificar arquivos IFC.

Implementou-se em *xBIM* a estrutura lógica do sistema de paredes, sendo uma parte do código exibida na Figura 23. Não houve tempo para o desenvolvimento completo do código de forma a esse ser utilizado comercialmente. No entanto, toda a estrutura de dados necessária foi traçada acima, não havendo impedimentos para se seguir o mesmo processo utilizado na parte efetivamente implementada e concluir o desenvolvimento.

Figura 23 – Código do *xBIM*

```

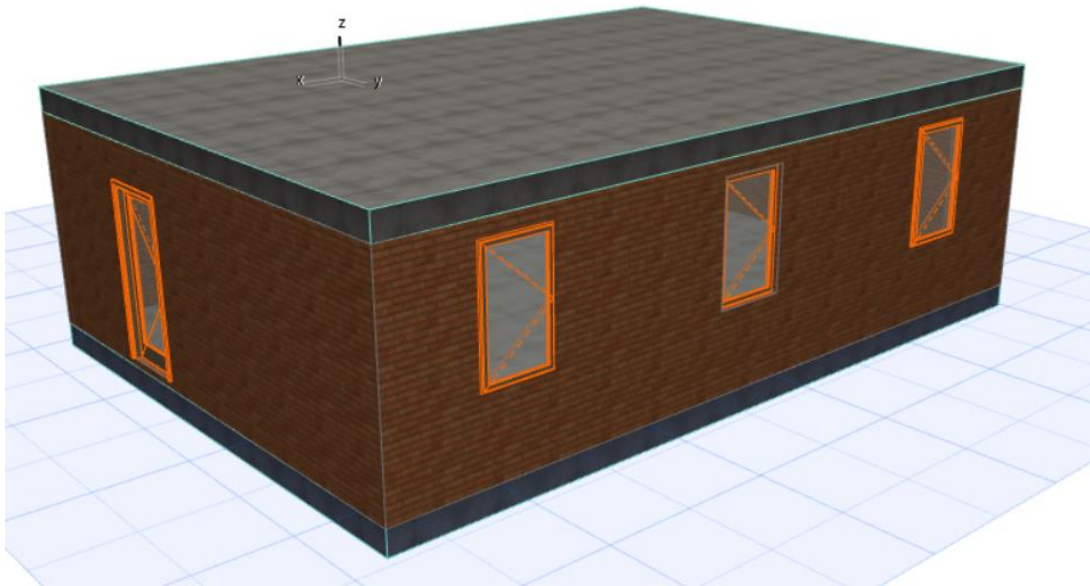
30 using (var model = IfcStore.Open(local, editor))
31 {
32     IEnumerable<IIfcWall> paredes = model.Instances.OfType<IIfcWall>();
33     double comprimentoTotalParedes = 0;
34     double bScore = 0;
35     foreach (var parede in paredes)
36     {
37         var comprimento = parede.IsDefinedBy.OfType<IIfcRelDefinesByProperties>().
38             Select(c => c.RelatingPropertyDefinition).OfType<IIfcElementQuantity>().
39             SelectMany(c => c.Quantities).OfType<IIfcQuantityLength>().Where(c => c.Name == "Length").
40             Select(p => (float)p.LengthValue).First<float>();
41
42         comprimentoTotalParedes = comprimentoTotalParedes + comprimento;
43     }
44
45     int count = 0;
46     foreach (var parede in paredes)
47     {
48         var propriedadeBDAS = parede.IsDefinedBy.Select(c => c.RelatingPropertyDefinition).
49             OfType<IIfcPropertySet>().SelectMany(c => c.HasProperties).OfType<IIfcPropertySingleValue>().
50             Where(c => c.Name == "BDAS").Select(c=>c.NominalValue.ToString()).First<string>();
51
52         var comprimento = parede.IsDefinedBy.OfType<IIfcRelDefinesByProperties>().
53             Select(c => c.RelatingPropertyDefinition).OfType<IIfcElementQuantity>().
54             SelectMany(c=>c.Quantities).OfType<IIfcQuantityLength>().
55             Where(c=>c.Name == "Length").Select(p=>(double)p.LengthValue).First<double>();
56
57         if (propriedadeBDAS == "2.8")
58         {

```

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 24 mostra o modelo simplificado que foi utilizado para demonstrar a validade da rotina. Todas as paredes são feitas de bloco cerâmico, com as dimensões externas de 10m x 7m.

Figura 24 – Modelo simplificado para teste



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 25 demonstra os resultados de cálculo do programa, fornecendo a pontuação de construtibilidade esperada para o sistema de paredes.

$$\text{Pontuação Paredes} = 100\% * 0.30 * 40 = 12 \text{ pontos}$$

Figura 25 - Cálculo da construtibilidade através do *xBIM*

A screenshot of a Windows terminal window. The title bar shows the file path: C:\Users\Victor\Google Drive\TCC\TCC2\Código\Buildability Assessment\Build... The terminal text is as follows:

```
Parede1: contabilizada  
Parede2: contabilizada  
Parede3: contabilizada  
Parede4: contabilizada  
Todas as paredes foram contabilizadas no cálculo  
Pontuacao de construtibilidade de paredes = 12  
30% do valor máximo (40)
```

Fonte: Elaborado pelo autor

6.1.6 Discussão

Nesse capítulo foi demonstrada a utilidade do IFC em um processo de extração e uso de informações contidas em modelos BIM. O processo foi implementado para o contexto da construtibilidade, que é o tema central do trabalho. Mesmo assim, o raciocínio mostrado nesse capítulo tem, na visão do autor, a possibilidade de se estender para a análise de outras áreas, como estimativas de custo e verificação de condicionantes legais para aprovação de projetos. De qualquer maneira, a programação sobre o arquivo IFC é um tema ainda muito recente para a indústria, e acredita-se que este se desenvolverá durante os próximos anos.

A integração do BIM com a AdC é uma boa proposta de pesquisa, não só internacionalmente, mas também para o Brasil. Iniciativas nessa direção podem ter grande importância no incentivo e popularização da construtibilidade no país, por facilitarem a consideração do conceito pelos projetistas. Esse capítulo é então uma contribuição para o tema, sendo o primeiro encontrado na literatura que demonstrou uma lógica de programação para um método de AdC de forma completa.

7 CONCLUSÃO

A construtibilidade é um parâmetro que indica a facilidade de construção. Com um grande volume de pesquisas no tema, sabe-se que melhorar a construtibilidade aumenta a produtividade e qualidade da construção, além de melhorar outras características como a relação da equipe e a segurança no canteiro.

Apesar de todas essas vantagens, o conceito é ainda pouco difundido no Brasil. Enquanto esse tema já foi estudado a fundo em alguns países, poucos desses tiveram uma ampla aceitação do conceito pela indústria da construção. Dessa forma, o trabalho se propôs primeiramente a analisar a experiência desses países com a construtibilidade e descobrir o que levou ao sucesso ou insucesso da implantação do conceito na indústria. A intenção disso foi utilizar esse conhecimento para propor abordagens de estudo da construtibilidade no Brasil.

A análise da literatura internacional foi feita de acordo com o que se propunha no trabalho, conseguindo-se um bom aprofundamento no tema a partir das publicações disponíveis. Chegou-se à conclusão de que as pesquisas brasileiras se basearam até o momento em uma linha de estudo americana, que não é adaptável ao contexto nacional se o interesse é a ampla difusão do conceito no setor da construção. Sugeriu-se então uma abordagem mais próxima a do governo de Singapura, onde a construtibilidade é amplamente utilizada na indústria.

Com esse conhecimento, o trabalho se propôs a encontrar o melhor método de avaliação da construtibilidade, cuja função é quantificar esse parâmetro. Através de uma análise da literatura foi possível com segurança apontar um método como o mais adequado para o contexto brasileiro, o BDAS de Singapura.

O processo de uso do método foi então estudado, para ser posteriormente aplicado em três projetos feitos no estado de Santa Catarina. Os resultados dessa aplicação foram bastante interessantes, chegando-se à conclusão de que o método pode ser aplicado para uma grande quantidade de projetos, sendo mais ou menos vantajoso para alguns tipos em específico.

Após isso, explorou-se pesquisas mais atuais no tema, envolvendo BIM e construtibilidade. A proposta era estudar em específico o uso do BIM para automatizar o processo de avaliação da construtibilidade. Como não foi encontrado na literatura um exemplo de aplicação efetiva dessa ideia, foi elaborada uma estrutura de dados sobre o formato de arquivo IFC, em que os dados do modelo BIM podem ser extraídos para quantificação da construtibilidade. Ao final, demonstrou-se uma aplicação em código dessa estrutura de dados utilizando-se o *xBIM*.

É reconhecido no trabalho que o tema construtibilidade é muito amplo e não pode ser tratado de forma completa em uma única publicação. A intenção geral desse trabalho foi então introduzir o conceito e suas interpretações mais atuais ao cenário brasileiro. Espera-se que esse texto possa servir de motivação e base para futuras pesquisas no tema.

7.1 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Futuros trabalhos têm um grande campo para explorar. O desenvolvimento de um método de avaliação da construtibilidade para o Brasil é uma das principais sugestões. Caso seja optado por um modelo nos moldes do BDAS, pode-se tentar encontrar uma correlação entre construtibilidade e o uso de mão de obra segundo as tabelas do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), divulgadas pela Caixa Econômica Federal.

Outra abordagem interessante seria tentar correlacionar matematicamente os valores fornecidos por métodos de avaliação com parâmetros reais de obras, a fim de determinar, para o Brasil, qual o nível de precisão dos resultados obtidos por esses métodos.

Por fim, há também um campo interessante relacionando construtibilidade e BIM, seja esse ligado à automatização de processos ou ao estabelecimento de relações e áreas comuns entre os dois conceitos.

REFERÊNCIAS

ABAURRE, Mariana Wyse. **Modelos de contrato colaborativo e projeto integrado para modelagem da informação da construção**. 2014. Tese de Doutorado em Engenharia de Construção Civil. Universidade de São Paulo. São Paulo.

ADAMS, S. Practical Buildability. Construction Industry Research and Information Association (CIRIA). 1989.

ARDITI, David; ELHASSAN, Ahmed; TOKLU, Y. Cengiz. Constructability analysis in the design firm. **Journal of construction engineering and management**, v. 128, n. 2, p. 117-126, 2002.

AKINTOYE, Akintola; MCINTOSH, George; FITZGERALD, Eamon. A survey of supply chain collaboration and management in the UK construction industry. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, v. 6, n. 3, p. 159-168, 2000.

AMANCIO, Rosa Carolina Abrahão. Identificação de fatores de construtibilidade que influenciam as fases do processo de projeto em pequenos escritórios de arquitetura. 2010. Dissertação de Mestrado em Construção Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

BARBOSA, Patricia; ANDERY, Paulo. Contribuição ao estudo de medidas para melhoria da construtibilidade no processo de projeto em empresas construtoras. **CONSTRUINDO**, v. 7, n. 1, 2015.

Banwell Report, 2017. Disponível em:

https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Banwell_Report. Acesso em: 16/11/2017.

BUILDING AND CONSTRUCTION AUTHORITY. **Code of Practice on Buildable Design**. Singapura: Setembro, 2005.

BUILDING AND CONSTRUCTION AUTHORITY. **Code of Practice on Buildable Design**. Singapura: Setembro, 2015.

BUILDING AND CONSTRUCTION AUTHORITY. **Code of Practice on Buildable Design**. Singapura: Setembro, 2017.

BUILDING AND CONSTRUCTION AUTHORITY. **Guide to the Buildable Design Appraisal System**. Singapura: Setembro, 2007.

BRYDE, David; BROQUETAS, Martí; VOLM, Jürgen Marc. The project benefits of building information modelling (BIM). **International journal of project management**, v. 31, n. 7, p. 971-980, 2013.

CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE. **CII Best Practices Guide: Improving Project Performance**. Estados Unidos: Fevereiro, 2012.

CIRIA. Buildability: An Assessment. 1983.. CIRIA Publications, Special publication no. 26

CHAN, Ewe Jin. **The influence of buildability on construction productivity in Singapore**. 1994. Tese de Doutorado. Nanyang Technological University, CIDB Centre for Advanced Construction Studies.

CHEETHAM, David W.; LEWIS, John. Productivity, buildability and constructability: is work study the missing link. In: **17th Annual ARCOM Conference**. Management, Manchester: University of Salford, Association of Researchers in Construction, 2001. p. 5-7.

CROWTHER, Philip. Design for buildability and the deconstruction consequences. 2002.

DAINTY, Andrew et al. Don't Believe the (BIM) Hype: The Unexpected Corollaries of the UK 'BIM Revolution. In: **Proceeding of the Engineering Project Organization Conference, The University of Edinburgh, Scotland**. 2015.

EMMERSON, Harold; EMMERSON, Sir Harold Corti. **Survey of problems before the construction industries: Report prepared for the Minister of Works**. HM Stationery Office, 1962.

FRANCIS, V. E. et al. Constructability strategy for improved project performance. **Architectural Science Review**, v. 42, n. 2, p. 133-138, 1999.

GIBSON JR, G. E. et al. Constructability in public sector. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 122, n. 3, p. 274-280, 1996.

GREAT BRITAIN; BANWELL, Sir Harold. **The Placing and Management of Contracts for Building and Civil Engineering Work: Report of the Committee [on the Placing and Management of Contracts for Building and Civil Engineering Work]**. HM Stationery Office, 1964.

GRIFFITH, A. Concept of Buildability. In: **Proceedings of the IABSE Workshop: Organisation of the Design Process**. 1986.

HASSAN, Zainuddin et al. **CONPLAN: construction planning and buildability evaluation in an integrated and intelligent construction environment**. 1997. Tese de Doutorado. University of Salford. Department of Surveying.

HEINECK, Luiz Fernando Mählmann; RODRIGUEZ, Marco Antonio Arancibia. A construtibilidade no processo de projeto de edificações. 2003.

HEINECK, Luiz Fernando M.; SANTOS, Débora de Góis; SAFFARO, Fernanda Aranha. Uma proposta para a Classificação de decisões voltadas a melhoria da construtibilidade. 2004.

HIJAZI, Wissam; ALKASS, Sabah; ZAYED, Tarek. Constructability assessment using BIM/4D CAD simulation model. **AACE International Transactions**, v. 4, p. 1-14, 2009.

HUGO, Frederick; O'CONNOR, James T.; WARD, William V. Highway constructability guide. 1990.

HM GOVERNMENT. **Business Industrial Strategy: government and industry in partnership**. Reino Unido: 2013.

JIANG, Li. **A constructability review ontology to support automated rule checking leveraging building information models**. The Pennsylvania State University, 2016. Tese de Doutorado. The Pennsylvania State University. Department of Architectural Engineering.

LAM, Patrick TI; WONG, Franky WH; TIONG, R. An Empirical Study of the Relationship Between Buildability and Productivity in Singapore—Lessons for Hong Kong SAR. In: **CRIOCM 2006 International Research Symposium, The Chinese Research Institute of Construction Management and North China Electric Power University**. 2006. p. 3-5.

LAM, Patrick TI et al. A scheme design buildability assessment model for building projects. **Construction Innovation**, v. 12, n. 2, p. 216-238, 2012.

LAWSON, Bryan. **How designers think: the design process demystified**. Routledge, 2006.

LEE, Yat Cheong. **An assessment on project buildability improvement in Singapore**. 1992. Tese de Doutorado. Nanyang Technological University, CIDB Centre for Advanced Construction Studies.

MCPARTLAND, Richard. BIM dimensions - 3D, 4D, 5D, 6D BIM explained, 2017. Disponível em: <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-bim-explained>. Acessado em: 16/11/2017.

MELHADO, Silvio B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. 1994. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

MOORE, David Ronald. **Task difficulty assessment: a contribution towards improved buildability through simplification**. 1996. Tese de Doutorado. De Montfort University. Wetherby.

MOORE, DAVID. Buildability assessment and the development of an automated design aid for managing the transfer of construction process knowledge. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 3, n. 1/2, p. 29-46, 1996.

NARLOCH, Tamyres Blenke et al. **Modelo indicador da construtibilidade a partir da análise geométrica do projeto**. 2015. Dissertação de Mestrado em Arquitetura. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

NEVES, Ana Paula Veloso. **Avaliação da construtibilidade em edifícios do ensino superior**. 2012. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade de Aveiro.

NBIMS-US. About the national BIM standard United States, 2016. Disponível em: <https://www.nationalbimstandard.org/about>. Acessado em: 20/11/2017.

O'CONNOR, James T.; RUSCH, Stephen E.; SCHULZ, Martin J. Constructability concepts for engineering and procurement. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 113, n. 2, p. 235-248, 1987.

ONG, Ting Guan. **The management of precast concrete production and usage in Singapore**. 1999. Tese de Doutorado. Nanyang Technological University, BCA Centre for Advanced Construction Studies, School of Civil and Structural Engineering.

PHENG LOW, Sui. Quantifying the relationships between buildability, structural quality and productivity in construction. **Structural Survey**, v. 19, n. 2, p. 106-112, 2001.

PIVOVAROFF, Mark J. et al. **Constructability principles: assessment of applicability within a consulting engineering company**. 1996. Dissertação de Mestrado. Engineering Faculty of the University of South Australia.

POH, Paul SH; CHEN, Jundong. The Singapore buildable design appraisal system: a preliminary review of the relationship between buildability, site productivity and cost. **Construction Management & Economics**, v. 16, n. 6, p. 681-692, 1998.

RICHARDSON, David. Productivity in the Construction Industry. **The Australia Institute**, Technical Brief No.33, 2014.

RODRIGUES, Marilucy Butinholi. Diretrizes para a integração dos requisitos de construtibilidade ao processo de desenvolvimento de produto de obras repetitivas. 2005. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

RODRIGUES, Lessandro Teixeira; GONCALVES, Antonio Augusto. A Construtibilidade nas Fases de Engenharia e Suprimento para a Construção e Montagem Industrial. 2015

RUSSELL, Jeffrey S. et al. Constructability related to TQM, value engineering, and cost/benefits. **Journal of performance of constructed facilities**, v. 8, n. 1, p. 31-45, 1994.

SNYDER, John L. **Guidance for constructability reviews of pre-final Navy construction contract documents**. 1985. Tese de Doutorado.

TAURIAINEN, M. et al. The assessment of constructability: BIM cases. **eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction**, p. 55-61, 2014.

UGWU, O. O.; ANUMBA, C. J.; THORPE, A. The development of cognitive models for constructability assessment in steel frame structures. **Advances in Engineering Software**, v. 35, n. 3, p. 191-203, 2004.

VAN NEDERVEEN, G. A.; TOLMAN, F. P. Modelling multiple views on buildings. **Automation in Construction**, v. 1, n. 3, p. 215-224, 1992.

WONG, F. W. H. et al. A review of buildability performance in Hong Kong and strategies for improvement. **Surveying and Built Environment**, v. 17, n. 2, p. 37-48, 2006.

WONG, Wing-hei. **Developing and implementing an empirical system for scoring buildability of designs in the Hong Kong construction industry**. 2007. Tese de Doutorado. The Hong Kong Polytechnic University. Hong Kong.

YOGUI, RICARDO. **Barreiras à construtibilidade pela visão sociotécnica da gestão de megaprojetos – pesquisa exploratória na indústria de óleo e gás**. 2012. Tese de

Doutorado. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Administração) Faculdade de Economia e Finanças IBMEC. Rio de Janeiro.

ZHANG, Cheng et al. Quantitative Assessment of Building Constructability Using BIM and 4D Simulation. **Open Journal of Civil Engineering**, v. 6, n. 03, p. 442, 2016.

ZOLFAGHARIAN, Samaneh. **A knowledge-based BIM exchange model for constructability assessment of commercial building designs**. 2016. Tese de Doutorado. Georgia Institute of Technology. School of Building Construction. Atlanta.

APÊNDICE A – BIM na AdC Manual

Para o projeto 2, na análise feita no Capítulo 5, foi utilizada a ferramenta *Schedule* do *Revit* para fornecer as informações relativas às paredes no modelo. Esse programa primeiro apresenta as informações dentro de seu ambiente de trabalho, podendo depois exportá-las para o *Microsoft Excel*, onde é possível trabalhar com os valores do modelo. Esse processo é exibido nas Imagens 1 e 2.

Imagem 1

Parameters

Columns

Rows

Titles & Headers

Imagem 2

J6					
	A	B	C	D	E
1	Wall Schedule				
2	Area	Base Constraint	Family and Type	Length	
3					
4	45 m ²	1.2 N.A. SUBSOLO	Basic Wall: Parede Concreto - 15cm	1778.53	
5	125 m ²	1.2 N.A. SUBSOLO	Basic Wall: Parede Concreto - 15cm	4981.22	
6	3 m ²	2.2 N.A. 1º PAVIMENTO	Basic Wall: Parede Alvenaria - 15cm	115	
7	19 m ²	2.2 N.A. 1º PAVIMENTO	Basic Wall: Parede Alvenaria - 15cm	720	
8	5 m ²	2.1 N.O. 1º PAVIMENTO	Basic Wall: Parede Alvenaria - 15cm	287.5	
9	23 m ²	2.1 N.O. 1º PAVIMENTO	Basic Wall: Parede Alvenaria - 15cm	864.58	
10	9 m ²	2.1 N.O. 1º PAVIMENTO	Basic Wall: Parede Alvenaria - 15cm	378.5	
11	2 m ²	2.1 N.O. 1º PAVIMENTO	Basic Wall: Parede Alvenaria - 15cm	135	
12	4 m ²	2.1 N.O. 1º PAVIMENTO	Basic Wall: Parede Alvenaria - 15cm	119.39	
13	17 m ²	2.3 N.O. PISCINA	Basic Wall: Parede Alvenaria - 15cm	520	
14	7 m ²	2.1 N.O. 1º PAVIMENTO	Basic Wall: Parede Alvenaria - 15cm	200	
15	6 m ²	2.1 N.O. 1º PAVIMENTO	Basic Wall: Parede Alvenaria - 15cm	200	
16	2 m ²	2.2 N.A. 1º PAVIMENTO	Basic Wall: Parede Alvenaria - 15cm	215	
17	1 m ²	2.2 N.A. 1º PAVIMENTO	Basic Wall: Parede Alvenaria - 15cm	24.39	
18	8 m ²	2.1 N.O. 1º PAVIMENTO	Basic Wall: Parede Alvenaria - 15cm	248.35	
19	1 m ²	2.1 N.O. 1º PAVIMENTO	Basic Wall: Parede Alvenaria - 15cm	38.39	
20	19 m ²	2.1 N.O. 1º PAVIMENTO	Basic Wall: Parede Alvenaria - 15cm	667.5	
21	9 m ²	2.1 N.O. 1º PAVIMENTO	Basic Wall: Parede Alvenaria - 15cm	290	
22	8 m ²	2.1 N.O. 1º PAVIMENTO	Basic Wall: Parede Alvenaria - 15cm	275	
23	13 m ²	2.1 N.O. 1º PAVIMENTO	Basic Wall: Parede Alvenaria - 15cm	439.58	
24	7 m ²	2.1 N.O. 1º PAVIMENTO	Basic Wall: Parede Alvenaria - 15cm	230	
25	2 m ²	2.1 N.O. 1º PAVIMENTO	Basic Wall: Parede Alvenaria - 15cm	155	
26	16 m ²	2.1 N.O. 1º PAVIMENTO	Basic Wall: Parede Alvenaria - 15cm	558.5	
27	4 m ²	2.2 N.A. 1º PAVIMENTO	Basic Wall: Parede Alvenaria - 15cm	135	

APÊNDICE B – Exemplo de Arquivo IFC

Um trecho do arquivo IFC é demonstrado abaixo. Nele pode-se ver a linha IFCSLAB, o que indica uma laje no modelo. Os itens associados a essa linha indicam ou propriedades da laje ou relações com outros elementos, cujas identificações globais são precedidas do caractere “#”

Imagem 1

```
#228= IFCDIRECTION((0.,1.));
#230=
IFCGEOMETRICREPRESENTATIONCONTEXT($,'Plan',3,1.000000000000E-5,#
227,#228);
#231= IFCGEOMETRICREPRESENTATIONSUBCONTEXT('Box','Plan',*,*,*,*,#
230,$,.PLAN_VIEW.,$);
#233= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,-0.3));
#235= IFCBOUNDINGBOX(#233,10.,7.,0.3);
#236= IFCSHAPE REPRESENTATION(#231,'Box','BoundingBox',(#235));
#239= IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE($,$,(#211,#236));
#245= IFCSLAB('1ihgObexX18xCvoKakFFv2',#12,'SLA - 007',$,$,#149,#
239,'6CAEA625-A3B8-4123-B339-C9492E3CFE42',.FLOOR.);
#260= IFCRELCONTAINEDINSPATIALSTRUCTURE('04ldtj6cp2dME6CiP80Bzh',
#12,$,$,(#245,#1677,#1904,#2116,#2328,#2642,#3609,#5246,#6210,#
7599,#8798,#9110,#10714,#11576,#12531,#12913),#126);
#264= IFCMATERIAL('Concrete - Structural');
#267= IFCSTYLEDITEM($,(#206),$);
#269= IFCSTYLEDREPRESENTATION(#151,$,$,(#267));
#271= IFCMATERIALDEFINITIONREPRESENTATION($,$,(#269),#264);
#275= IFCRELASSOCIATESMATERIAL('2NQruT2IfXVXQCoL8GXvkN',#12,$,
$, (#245,#14092),#264);
#278= IFCPROPERTY SINGLEVALUE('StructuralClass',
$,IFCLABEL('Undefined'),$);
```

ANEXO A – DdC de Nima, Abdul-Kadir e Jaafar (2001)

Evaluation of the role of the contractor's personnel

Mekdam A. Nima, Mohd R. Abdul-Kadir and Mohd S. Jaafar

Structural Survey

Volume 19 · Number 4 · 2001 · 193–200

(1) Project constructability enhancement during conceptual planning phase comprises of concepts C1 to C7; they are in brief:

- *Concept C1.* The project constructability programme should be discussed and documented within the project execution plan, through the participation of all project team members.
- *Concept C2.* A project team that includes representatives of the owner, engineer and contractor should be formulated and maintained to take the constructability issue into consideration from the outset of the project and through all its phases.
- *Concept C3.* Individuals with current construction knowledge and experience should achieve the early project planning so that problems at the interface between design and construction can be avoided.
- *Concept C4.* The construction methods should be taken into consideration when choosing the type and the number of contracts required for executing the project.
- *Concept C5.* The master project schedule and the construction completion date should be construction-sensitive and should be assigned as early as possible.
- *Concept C6.* In order to accomplish the field operations easily and efficiently, major construction methods should be discussed and analysed in-depth as early as possible to direct the design according to these methods.
- *Concept C7.* Site layout should be studied carefully to perform the construction, operation and maintenance efficiently, and to avoid problems at the interfaces between the operations performed during these phases.

(2) Project constructability enhancement during design and procurement phases comprises of concepts C8 to C15; which are in brief:

- *Concept C8.* Design and procurement schedules should be dictated by construction sequence. Thus, the construction schedule must be

discussed and developed prior to the design development and procurement schedule.

- *Concept C9.* Advanced information technologies are important to any field including the field of construction industry. Therefore, the use of the technologies will overcome the problem of fragmentation into specialised roles in this field, hence enhancing constructability.
 - *Concept C10.* Designs, through design simplification by designers and design review by qualified construction personnel, must be configured to enable efficient construction.
 - *Concept C11.* Project elements should be standardised to an extent that will never affect the project cost negatively.
 - *Concept C12.* The project technical specifications should be simplified and configured to achieve efficient construction without sacrificing the level or the efficiency of the project performance.
 - *Concept C13.* The capability of modularization and preassemblies for project elements should be taken into consideration and studied carefully. Modularization and preassemblies' design should be prepared to facilitate fabrication, transportation and installation.
 - *Concept C14.* Project design should take into consideration the accessibility of construction personnel, materials and equipment to the required position inside the site.
 - *Concept C15.* Design should facilitate construction during adverse weather conditions. A good effort should be given to planning for the construction of the project under suitable weather conditions; otherwise, the designer must increase the project elements that could be prefabricated in workshops.
- (3) Project constructability enhancement during field operations phase comprises of concepts C16 to C23; which are in brief:
- *Concept C16.* Field tasks sequencing should be configured in order to

minimise damages or rework of some project elements, minimise scaffolding needs, formwork used, or congestion of construction personnel, material and equipment.

- *Concept C17.* Innovation of temporary construction materials/systems, or implementing innovative ways of using available temporary construction materials/systems, which have not been defined or limited by the design drawings and technical specifications.
- *Concept C18.* Innovation of new methods in using off-the-shelf hand tools, or modification of the available tools, or origination of new hand tools that reduce labour-intensity, increase mobility, safety or accessibility.
- *Concept C19.* Innovative uses of new methods in using the available equipment or modification of the available equipment to increase their productivity.
- *Concept C20.* Encouragement of the use of constructor optional preassembly in order to increase the productivity, reduce the need for scaffolding, or improve the project constructability under adverse weather conditions.
- *Concept C21.* Encouragement of the innovation of temporary facilities.
- *Concept C22.* Contracts should not be awarded based on low bids only, but by considering other project variables such as quality and time. Also, good contractors should be considered for future construction works.
- *Concept C23.* Evaluation documentation and feedback of the issues of the constructability concepts used throughout the project.

The role of the contractor's personnel and their influence in enhancing projects' constructability

According to Twort (1975), the civil engineer contractor is the person who normally undertakes the construction of the works. He/she "tenders" or "offers" to construct them for a given sum of money, and if his/her tender is accepted he/she then "contracts",

i.e. signs a contract with the owner, to construct the work. He/she is directed by the drawings, specifications, and instructions issued by the engineer in accordance with rules laid down in the contract. In contrast, according to Nunnally (1998), companies and individuals engaged in the business of construction are commonly referred to as construction contractors, or simply contractors, because they operate under a contract arrangement with the owner.

Atkinson *et al.* (1997) in the conclusions of their project report, state that early involvement of specialist contractors was secured using a variety of techniques including two-stage tenders, performance specifications, pre-tender and post-tender interviews and informal consultations. The importance of the specialist had been noted in previous studies and was confirmed by Atkinson *et al.* (1997) in their follow-up survey. Respondents to their survey, in particular, supported the use of interviews and reviews related to buildability/constructability issues. Below is a description of the responsibilities of the contractor's personnel who have direct influence in enhancing the constructability of the work.

The agents and the deputy agents

The agent or the project manager is the chief executive on site whose function is mainly managerial. He/she is responsible for directing and controlling the whole of the construction work on site, and he/she will have wide authority to enable him/her to employ personnel, hire machinery and equipment, purchase materials, and employ sub-contractors. His/her power to do these things without reference to his/her firm's head office will depend on the size of the job, its nature and distance from the head office; the policy adopted by his/her firm, and, of course, his/her standing within his firm.

An agent must display a considerable number of talents. He/she must not only be knowledgeable in the civil engineering arts of construction, but also be able to command people and be a good organiser and administrator. Furthermore, he/she needs sound business sense, because his/her job is not only to get the work built properly to the satisfaction of the engineer but also to make a profit for the contractor. He/she is therefore

ANEXO B – Tabelas SDBAM

Scheme design decision	Buildable feature	Rating (with remarks)	Non-buildable feature	Rating (with remarks)
<i>General plan</i> Proposed master layout, overall plan shape and heights	Plan shape that allows sufficient crane reach (assuming one crane per block of 60 m jib capable)	+1	Plan shape that entails two cranes (including mixed crane types) to provide adequate reach	-1
			Irregular curve or organic form	-1
			Horizontal distance between adjacent buildings (under construction) less than 1,300 mm (causing potential scaffolding difficulty)	-1
Site coverage (proportion of site area occupied by buildings)	Site coverage of building less than 70 percent	+1 For very large sites site coverage can be increased up to 80 percent	Exceeding 80 percent site coverage of building at ground level with little space for construction manoeuvring (including commercial podium floors abutting site boundary with more space above podium)	-1 For very large sites site coverage can be increased up to 95 percent
Size and shape of architectural voids (not for windows but as part of elevation features)			Large openings (ex. 7 m headroom), or entailing temporary working platforms Or Large openings (ex. 8 m span for top member), or entailing propping	-1

(continued)

A buildability
assessment
model

229

Table V.
Extracts from the list
of buildable and
non-buildable features
with ratings

Table V.

Scheme design decision	Buildable feature	Rating (with remarks)	Non-buildable feature	Rating (with remarks)
Architectural features (sun-shading or other projections)	Features (ex. 300 mm projection) that can be attached separately after carcass is constructed, with no restriction on sequence, using same fixing method throughout	+1 Ex. 90 percent by item number	Irregularly shaped architectural features that can only be cast <i>in situ</i>	-1 Ex. 90 percent by item number
<i>Precast RC frame</i> Modular dimensions	All sizes suitable for common plant to handle	+1	Ditto with no repetition in shape	-2 Ex. 90 percent by item number
	All sizes within allowable limits (max. 2.5 m wide × 4.2 m long × 3.0 m high) for road transport Span of beams ≤ 5 m	+1	Non-modular with multiple grids not being repetitive vertically Sizes that entail one truck load per item during transport (due to size or weight limit) Span of beams ex. 8 m entailing need for chamfer in soffit formwork	-1 -1 -1 -1
Span of <i>in situ</i> beam		+1 Ex. 90 percent of all beams		-1 Ex. 90 percent of all beams

ANEXO C – Tabelas originais BDAS

Table A Categories of Building

CATEGORIES	TYPES OF DEVELOPMENT
Residential (landed)	<ul style="list-style-type: none"> • Terrace house • Semi-detached house • Bungalow • Clustered housing
Residential (non-landed)	<ul style="list-style-type: none"> • Condominium • Flat • Service apartment • Apartment • Dormitory • Hostel
Commercial	<ul style="list-style-type: none"> • Bank • Departmental store • Shopping centre • Office building • Supermarket • Restaurant • Hotel • Conventional hall and facilities • Exhibition hall

Table A Categories of Building (*cont'd*)

CATEGORIES	TYPES OF DEVELOPMENT
Industrial	<ul style="list-style-type: none"> • Factory • Warehouse • Godown • Brewery • Cold storage building • Packaging and processing plant • Printing plant • Sub-station
School	<ul style="list-style-type: none"> • Primary school • Secondary school
Institutional and others	<ul style="list-style-type: none"> • Library • Hospital • Home for the aged • Childcare centre/Nursery • Research building • Educational facilities • Terminal building • Campus • Medical centre • Camp • Embassy • Museum • Crematorium and Columbarium • Club house • Cinema/Theatre • Sports/Recreational facilities • Public transport station

Table B Minimum Buildability Score for New Work

CATEGORY OF BUILDING WORK / DEVELOPMENT	MINIMUM BUILDABILITY SCORE		
	2,000 m ² ≤ GFA < 5,000 m ²	5,000 m ² ≤ GFA < 25,000 m ²	GFA ≥ 25,000 m ²
Residential (landed)	57	59	62
Residential (non-landed)	63	65	68
Commercial	65	72	75
Industrial	67	74	77
School	64	69	72
Institutional and others	60	66	69

Table C Minimum Buildability Score for A&A Work

CATEGORY OF BUILDING WORK / DEVELOPMENT	MINIMUM BUILDABILITY SCORE
Residential (landed)	57
Residential (non-landed)	60
Commercial	62
Industrial	62
School	60
Institutional and others	60

TABLE 1 Structural Systems – S_s Value

(to be used for projects with planning applications made from 1st September 2005 to 31st December 2006)

STRUCTURAL SYSTEM	DESCRIPTION	LABOUR SAVING INDEX S _s
Precast Concrete System	Full precast	1.00
	Precast column/wall with flat plate/flat slab ⁽¹⁾	0.95
	Precast beam and precast slab	0.90
	Precast beam and precast column/wall	0.85
	Precast column/wall and precast slab	0.80
	Precast beam only	0.75
	Precast slab only	0.75
	Precast column/wall only ⁽¹⁾	0.75
Structural Steel System (applicable only if steel decking or precast slab is adopted)	Steel beam and steel column (without concrete encasement)	0.95
	Steel beam and steel column (with concrete encasement)	0.85
Cast In-situ System	Flat plate ⁽¹⁾	0.90
	Flat slab ⁽¹⁾	0.85
	One-way banded beam ⁽¹⁾	0.75
	Two-way beam ⁽¹⁾ (slab/beam ⁽²⁾ >10)	0.65
	Two-way beam ⁽¹⁾ (slab/beam ⁽²⁾ ≤10)	0.50
Roof System	Integrated metal roof on steel truss	0.90
	Metal roof on steel truss or timber truss	0.85
	Tiled roof on steel beam or precast concrete beam or timber beam	0.75
	Metal roof on cast in-situ beam	0.60
	Tiled roof with cast in-situ beam	0.55

LABOUR SAVING INDEX (LSI)		
DESCRIPTION	SIMILAR TO	LSI TO BE USED
Precast hollow core slab	Precast concrete slab	Refer to Table 1
Precast planks (half slab)	Precast concrete slab	Refer to Table 1
Waffle slab (cast in-situ)	Cast in-situ slab (slab/beam < 10)	Refer to Table 1
Waffle slab (precast)	Precast concrete slab	Refer to Table 1
Precast shell column/beam	Precast column/beam	Refer to Table 1
Steel column with concrete infill	Steel column without concrete encasement	Refer to Table 1
One-way beam*	One-way or One-directional banded beam	Refer to Table 1
Skylight	-	Ss Value = 1.00

TABLE 2 Wall Systems – S_w Value

WALL SYSTEM	LABOUR SAVING INDEX S_w	
Curtain wall/full height glass partition/dry partition wall ⁽²⁾ / prefabricated railing	0.70	1.00 ⁽¹⁾
Precast concrete panel/wall ⁽³⁾	0.80	0.90 ⁽¹⁾
PC formwork ⁽⁴⁾	0.50	0.75 ⁽¹⁾
Cast in-situ RC wall	0.50	0.70 ⁽¹⁾
Cast in-situ RC wall with prefabricated reinforcement	0.54	0.74 ⁽¹⁾
Precision block wall (internal wall)	0.40	0.45 ⁽¹⁾
Precision block wall (external wall)	0.30	
Brickwall	0.30	

TABLE 3 Other Buildable Design Features – N Value*(to be used for projects with planning applications made from 1st September 2005 to 31st December 2006)*

BUILDABLE FEATURES	MODULE	UNIT OF COVERAGE	N VALUE		
			PERCENTAGE OF COVERAGE ⁽⁴⁾		
			≥65% TO < 80%	≥ 80%	
1. Standardisation					
1.1	Columns (3 most common sizes)	0.5M ⁽²⁾	no.		2.00
1.2	Beams (3 most common sizes)	0.5M ⁽²⁾	no.		2.00
1.3	Door leaf openings (width) (3 most common sizes)	0.5M	no.		1.00
1.4	Windows (3 most common sizes) ⁽¹⁾	1M/1M ⁽³⁾	no.		1.00
2. Grids					
2.1(a)	Repetition of floor-to-floor height For blocks more than 6 storey <i>The repetition should omit bottom floor, top floor and above.</i>	0.5M	no.	1.50	2.00
2.1(b)	Repetition of floor-to-floor height For blocks up to 6 storey <i>The repetition should omit bottom floor, top floor and above. Only applicable if there are at least 2 floor heights remaining after the floor omission.</i>	0.5M	no.	0.75	1.00
2.2(a)	Vertical repetition of structural floor layout For blocks more than 6 storey <i>The repetition should omit bottom floor, top floor and above.</i>		area	1.50	2.00
2.2(b)	Vertical repetition of structural floor layout For blocks up to 6 storey <i>The repetition should omit bottom floor, top floor and above. Only applicable if there are at least 2 floors remaining after the floor omission.</i>		area	0.75	1.00
3. Others					
3.1	Multi-tier precast columns		no.		2.00
3.2	Precast or pre-assembled/ metal staircases		no.		2.00
3.3	Precast meter chambers		no.		1.50
3.4	Precast refuse chutes		no.		1.50
3.5	Precast service risers		no.		1.00
3.6	Non-screed floor		area		1.00
3.7	Columns sit directly on top of piles		no.		1.00
3.8	Ground beams on top of pilecaps and/or integrated with pilecaps		no.		1.00
A. Single Integrated Components (Bonus Points)					
A.1	Prefabricated bathroom/toilet units complete with piping/wiring		no.	2.00	3.00
A.2	Precast household shelters <i>Household shelter is considered as precast if the total length of the in-situ joints is not more than 20% of its wall perimeter on plan.</i>		no.	2.00	3.00